Beiträge zur Kenntnis der Westerwaldtone und zur Praxis der Steinzeugindustrie.

Von der Kgl. Techn. Hochschule zu Dresden genehmigte

Dissertation

zur Erlangung der Würde eines

Doktor-Ingenieurs

vorgelegt von

Diplom-Ingenieur **Wilhelm Scheffler**

aus

Dresden.

Referent: Geheimer Hofrat Prof. Dr. Hempel.
Korreferent: Professor Dr. Fritz Foerster.

Mit 52 Tabellen.

LEIPZIG.

Druck von Alexander Schwarzenberg.

1906.

Beiträge zur Kenntnis der Westerwaldtone und zur Praxis der Steinzeugindustrie.

Von der Kgl. Techn. Hochschule zu Dresden genehmigte

Dissertation

zur Erlangung der Würde eines

Doktor-Ingenieurs

vorgelegt von

Diplom-Ingenieur **Wilhelm Scheffler**

aus

Dresden.

Referent: Geheimer Hofrat Prof. Dr. Hempel.
Korreferent: Professor Dr. Fritz Foerster.

Mit 32 Tabellen.

LEIPZIG.

Druck von Alexander Schwarzenberg.

1905.

Einleitung.

Der Westerwald bildet denjenigen Teil des Ostflügels des Niederrheinisch-Westfälischen Schiefergebirges, der sich zwischen den Flüssen Lahn, Rhein und Sieg hinzieht. Seine reichen Tonlager haben eine bedeutende Steinzeugindustrie ins Leben gerufen; sie durch praktische Arbeiten zu fördern, ist eines der Ziele der Kgl. Keramischen Fachschule in Höhr. Demgemäss traten mir als ehemaligen Lehrer für Chemie an dieser Anstalt ausser dem theoretischen Unterricht eine Anzahl technischer Aufgaben entgegen, die ich teils allein, teils gemeinschaftlich mit meinen Schülern zu lösen bemüht war. In der vorliegenden Arbeit will ich darüber berichten und habe zur Erhöhung der Übersichtlichkeit unsere Untersuchungen nebst ihren Ergebnissen in die folgenden sieben Abschnitte zusammengefasst:

I. Die Tone des Westerwaldes in geologischer, physikalischer und chemischer Beziehung.

II. Der Einfluss einiger Zusätze auf den Sinterungsgrad der Westerwaldtone mit Rücksicht auf die Erzeugung dichter Steinzeugmassen.

III. A. Porzellan- und Steingutmassen aus gewöhnlichen Westerwaldtonen neben Kaolin.

B. Glasuren und farbige Gläser für Porzellanmassen.

IV. A. Die Grenzwerte der Tonerde- und Kieselsäuremengen in hochgebrannten Steinzeugglasuren.

B. Glasuren für die Temperaturen von 1210 und 1170 Grad.[1])

[1]) Die in dieser Arbeit angegebenen Temperaturen beziehen sich auf die Schmelztemperaturen der Segerkel (s. Seite 23). Um für meine Darstellung kurze Ausdrücke zu gewinnen, sei es mir gestattet, von ihnen, sowie auch von den entsprechenden Kegelnummern ohne weiteres Gebrauch zu machen, wenn auch die Temperaturen nur zum Teil unmittelbar bestimmt, zum anderen Teil interpoliert und darum nicht ganz genau sind.

V. Unterglasurfarben für Steinzeug.

VI. Lauf- und Mattglasuren für Steinzeug, mit besonderer Anwendung von Ton, Bimsand, Basalt, Toneisenstein und Magneteisenerz.

VII. Die Fehler der blauen Smalte im Salzfeuer und die Mittel zu ihrer Verhütung.

Der erste Abschnitt gibt auf Grund genauer Analysen neue Beiträge zur Kenntnis der Westerwaldtone und beschreibt sie zum erstenmal speziell und umfassend in ihren für die Steinzeugindustrie wichtigsten Eigenschaften. Unter demselben Gesichtspunkt steht der zweite Teil. Er behandelt das Verhalten der Tone im Feuer, im besonderen unter dem Einfluss einer Reihe von Zusatzmitteln, von denen in erster Linie die bekannten Porzellanrohstoffe Feldspat und Sand, weiterhin als neu vornehmlich Bimsand, ferner Trachyt, Phonolith, Marmor, Flussspat und Schwerspat besprochen werden. Im Abschnitt III ist zunächst dargelegt, dass man auch gewöhnliche Westerwälder Steinzeugtone neben Kaolin für Porzellan- und Steingutmassen anwenden kann. Darauf folgt eine Beschreibung von Glasuren und farbigen Gläsern für hohe Temperatur von emailartiger Wirkung, mit einer Studie über die Frage, welche Alkalisalze einschliesslich des Kalifeldspats den glasigen Charakter analoger hochtonerdehaltiger Fritten in langem Feuer am günstigsten beeinflussen. In den Glasurproben des IV. Teiles ist der Versuch gemacht worden, festzustellen, wieviel Äquivalente Tonerde mindestens und höchstens in einer Steinzeugglasur anzusetzen sind, und in welchem Verhältnis die Kieselsäure dazu steht, damit Steinzeugglasuren hervorgehen, die gegen die ungleichen Temperaturen in einem grösseren Ofen unempfindlich sind. Hieran schliessen sich Glasuren für 1170°, aus denen hervorgeht, dass man ohne Anwendung künstlicher Fritten zu einer vollkommen klaren Glasurdecke nicht gelangt, wenigstens nicht bei kurzdauerndem Feuer. In Abschnitt V findet man die Unterglasurfarben, die an der Schule von mir eingeführt und von dem Lehrer für Zeichnen und Malen, Herrn W. Goltz, in vollendeter Weise zur Anwendung gebracht worden sind. Abschnitt VI beschäftigt sich mit den Lauf- und Mattglasuren, in denen als neu die ausgezeichnete Anwendbarkeit von Basalt, Toneisenstein, Magneteisenerz und roter Tone für scheckige und für stumpfe Glasuren mit einer an die französischen Steinzeugarbeiten erinnernden Wirkung gezeigt wird. Der VII. Teil endlich behandelt die für die Industrie des Westerwaldes höchst

wichtige Frage, welchen Fehlern die Smalte infolge der besonderen Vorgänge im Salzofen anheimfällt, und zeigt an der Hand eines Beispiels einen neuen und allgemein gangbaren Weg, der zu einem fehlerlosen blauen Glase führt.

Als Quellen dienten mir „Segers Gesammelte Schriften“, Professor Kerls umfangreiches Sammelwerk: „Die Tonwarenindustrie“ und eine Anzahl Aufsätze aus der Zeitschrift „Sprechsaal“, von denen ich die von Dr. E. Berdel hervorhebe. Die Literatur ist also spärlich, sogar sehr spärlich im Verhältnis zur Grösse der Industrie. Dies hängt damit zusammen, dass ihre Grundlage zum weitaus grössten Teile empirisch ist, und ihr eine spezielle theoretische ausser der allgemein chemischen so gut wie gar nicht zur Verfügung steht. Bei den Versuchen mit den schon erwähnten neuen Rohstoffen war ich überhaupt ganz und gar auf das Sammeln eigener Erfahrungen angewiesen. Ausgezeichnete Dienste leistete mir endlich noch die „Geologische Spezialkarte von Preussen und den Thüringischen Staaten“, Lieferung XLI und XLIV, und die dazu gehörigen „Erläuterungen“.

Inhaltsangabe.

I. Teil.

Die Tone des Westerwaldes in geologischer, physikalischer und chemischer Beziehung.

A. Die Tone in geologischer Beziehung.

Die Tone des gesamten Westerwaldes, sowohl des Unter-Westerwaldes mit den Ämtern Selters und Montabaur, als auch des sogenannten Hohen Westerwaldes, der bedeutendsten nordöstlichen Anschwellung des grossen Plateaus, gehören der tertiären Periode an. Sie bilden ein wichtiges und weitverbreitetes, wenn auch nicht immer zu Tage tretendes Glied der Braunkohlenformation, die ausserdem noch Basalte und Basaltkonglomerate, Tuffe, Bimsande, bituminöse Schiefertone und Sande umfasst.

Auf dem Hohen Westerwald liegt die Braunkohlenformation durchweg auf dem Älteren Basalt; auf diese folgen als nächstjüngere Ablagerung gewöhnlich Tone, meist bituminöse Tone, und darauf bauen sich die Braunkohlenschichten auf, die mit Ton und Basaltkonglomeraten wechsellagern. Als letztes Glied erscheint oben der Jüngere Basalt, der oft auch noch von Basaltkonglomeraten, einer erdigen Masse von rötlicher Farbe, überlagert wird, worauf dann endlich die diluvialen Lehme und Basaltschotter folgen. Ein allgemeines Profil würde demnach folgende Reihe zeigen:

Diluvium,
Jüngerer Basalt,
Braunkohlenflöze mit Ton wechsellagernd,
Ton,
Älterer Basalt.

Den innigen Zusammenhang zwischen Kohle und Ton und ihre Gleichaltrigkeit erkennt man aus der häufigen Wechsellagerung beider, die allerdings für den letzteren nicht vorteilhaft ist, denn solche Tone sind durchgängig so mit Kohleteilchen durchsetzt, dass sie technisch nicht verwendbar sind. Daher sind denn auch im Hohen Westerwald im Verhältnis zur Verbreitung der Tone nur an wenigen Stellen brauchbare zu finden, u. a. bei Breitscheid, ferner in der Nähe von Lahr, südlich von Mengerskirchen und bei Wengenroth, Girkenrod und Guckheim, südlich von Westerburg. Die Tonindustrie weist daher in diesen Gegenden auch nur das Gepräge eines Kleinbetriebes auf.

Auf der Grube „Ludwig Haas“[1]) tritt das folgende sehr interessante Profil auf:

2	m	Lehm,
26	„	blasiger Basalt,
10	„	dichter Basalt,
0,6	„	Walkerde,
0,2	„	Kohle,
0,2	„	Walkerde,
5,9	„	Basaltblöcke,
2,1	„	gelber Ton mit Basaltblöcken.

Dann folgt dreizehn Mal Ton von verschiedener physikalischer Beschaffenheit, wechsellagernd mit Kohle, Sandstein und bituminösen Schiefern.

Auf der Grube „Johannesberg“[2]), nördlich von Neunkirchen, fand man:

1	m	Basaltschotter,
9	„	fester Basalt,
1,2	„	bituminöser Ton,
0,8	„	Kohle,
0,15	„	bituminöser, etwas sandiger Ton,
0,9	„	Kohle,
?		bituminöser Ton,
—		Basalt.

Von der Grube „Eduard“[3]) auf der rechten Seite des Elbbaches zwischen Haertlingen und Caden, wird folgender Aufschluss verzeichnet:

1,2	m	Lehm- und Basaltschotter,
7,8	„	Basalt,
7,2	„	fester roter Ton,
12,0	„	fester gelber Ton,
6,3	„	grauer Ton mit zahlreichen 0,06 m mächtigen Kohlestreifen.

Dann folgt ein fünfmaliger, regelmässiger Wechsel zwischen Kohle und Ton, wobei letzterer eine Gesamtmächtigkeit von 2,11 m erreicht. Diese drei Beispiele genügen wohl, um das Verhältnis zwischen Kohle und Ton zu zeigen; sie lassen sich im übrigen leicht bedeutend vermehren.

Ihre Entstehung verdanken die Tone des Hohen Westerwaldes der Zersetzung entweder von Tonschiefern oder von Basaltkonglomeraten. Aus den ersteren entstanden die weissen unplastischen Varietäten, die als „Walkerde“ geschätzt werden, die aber nur in geringen Massen auftreten, z. B. auf der schon genannten Grube „Ludwig Haas“ und in der Umgebung von Lahr. Daneben finden sich auch weisse plastische, sogenannte „edle Tone“. Aus den Basalten sind die weniger reinen, gelblichen, grauen,

---

[1]) „Erläuterungen“, Blatt Rennerod, S. 5.
[2]) „Erläuterungen“, Blatt Mengerskirchen, S. 5.
[3]) „Erläuterungen“, Blatt Westerburg, S. 6.

braunen oder roten Tone hervorgegangen, womit auch die Beobachtung zusammenhängt, dass die Tone im allgemeinen umso reiner sind, je grösser die Entfernung von den Basaltmassen und den Kohlelagern wird.

Ganz anders und wesentlich günstiger liegen die Verhältnisse im Unter-Westerwald. Hier kommt das Zusammenlagern von Ton und Kohle seltener vor, hier finden sich sehr reichlich reine technisch verwertbare Tone, hier blüht infolgedessen auch eine bedeutende Industrie, die namentlich an die Orte Höhr und Grenzhausen geknüpft ist. Ein beträchtlicher Gewinn erwächst auch noch durch die Ausfuhr des Tones, der, aus dem ganzen Gebiet gesammelt, und nach der Hauptverladestelle am Rhein als „Vallendarer Ton" bezeichnet, hauptsächlich nach den Ruhr- und Saargebieten, aber auch nach Holland und Frankreich geht. Diese Tone sind aus der Zersetzung von unterdevonischen Schichten entstanden, sie liegen daher auch diesen unmittelbar auf und treten in vier Hauptmulden zwischen den Höhen aus unterdevonischem Material hervor. Die bedeutendste unter ihnen ist die Wirgeser Mulde, aus welcher der in Höhr stark verwendete sogenannte Lämmersbacher Ton und der auch auswärts bekannte Ebernhahner Ton stammt. Westlich davon folgt die Ransbacher Mulde mit den Orten Ransbach und Baumbach, wo eine rege Industrie herrscht. Die südlichen Ufer dieser ursprünglich als Seen oder als Seenlandschaften zu denkenden Mulden mögen durch den mächtigen Rücken der mit ihrer höchsten Spitze 573,87 m erreichenden Montabaurer Höhe gebildet worden sein, die die trigonometrischen Zeichen bei Wirges und Ransbach im Mittel um 254,1 m überragt. Die dritte Mulde zieht sich in nordwestlicher Richtung zwischen Mogendorf und Selters hin, die kleinste liegt zwischen Höhr und Hillscheid. In diesem Gebiet liegen die Tone oft in inniger Gemeinschaft mit Kiesen und Geröllen, werden von diesen im allgemeinen überlagert, an einzelnen Stellen, z. B. bei Selters, von Quarzit unterlagert. Auch eine Zusammenlagerung mit mehr oder weniger feinem Sande findet häufig statt, oft derart, dass das Material technisch unbrauchbar wird, oft auch mit ausserordentlich feinen Übergängen vom Ton zum reinen Quarzsand. Aus dieser geologischen Ursache erklärt sich der Reichtum der Tone an feinem Sand.

An die Tone des Unter-Westerwaldes schliessen sich jene aus der Umgebung von Koblenz an. Bei Immendorf[1]) in der Nähe von Urbar a. Rh. ist folgendes Profil erschlossen:

Dammerde und Löss,
4—6 m heller Ton,
0,5 m blaugrauer Ton,
4 m Braunkohle,
Dunkler Ton,
Unterdevonische Schichten.

---

[1]) „Erläuterungen", Blatt Koblenz, S. 17.

Sehr bemerkenswert ist das Schwanken der Tone in bezug auf Reinheit und Farbe, selbst in einem und demselben Lager. Es wird später Gelegenheit sein, hierauf noch einmal zurückzukommen. Hier sei nur beispielsweise angeführt, dass in den Lagern um Selters die reineren Tone in der Regel von stark eisenhaltigen überlagert werden; häufig sind auch nur die letzteren vorhanden. Dabei ist der Eisengehalt oft so gross, dass der Ton nur als Farbmaterial dienen kann, unter Umständen sogar als Eisenerz Verwendung findet. Bei Bendorf a. Rh. findet man unmittelbar benachbart weisse und rote Tone; in dem grossen Tagbau bei Urbar liegen oben unreine, stellenweise glaukonitische, grünliche oder rote Tone, unten reine weisse Pfeifentone.

Eine wichtige Rolle spielt das Eisen in den Tonen. Meist ist es in Form feinster Markasitpartikelchen vorhanden, die beim Brennen in Eisenoxyd übergehen und die Veranlassung zu hässlichen braunen Flecken geben; man findet aber dieses Mineral auch in grösseren Stücken; in der Grube des Herrn Losske z. B. bei Hillscheid fand ich es in Knollen von Faustdicke und zwei- bis dreifacher Länge. Ein anderes Material ist der Brauneisenstein, der sich stellenweise so reichlich findet, dass sein bergmännischer Abbau lohnend wird. Eine dritte Quelle ist endlich der Toneisenstein. Wenn dieser auch seine Lager erst gebildet haben soll, als die Haupttonlager bereits vorhanden waren,[1]) so scheint doch ein Einfluss desselben auf die obersten Tonschichten nicht ganz ausgeschlossen zu sein; wenigstens fand ich in der ebengenannten Grube auch ein graues, scheinbar völlig verwittertes Gesteinsmaterial, das sich durch seinen hohen Gehalt an Eisenoxydul und Kohlensäure neben Tonerde unzweifelhaft als ein verwitterter Toneisenstein zu erkennen gab. Der danebenliegende Ton zeigte sich ebenfalls reich an Kohlensäure. Die Analysen seien hier wiedergegeben, mit der Bemerkung, dass die Kohlensäurebestimmung wahrscheinlich zu hoch ausgefallen ist.

	Toneisenstein:		Ton:
SiO_2	= 18,73		43,50
Fe_2O_3	= 2,65	2. Bestimmung: 2,50	1,80
FeO	= 33,89	34,78	—
Al_2O_3	= 6,52		27,94
CaO	= 6,33		2,30
MgO	= 2,86		1,18
Alkalien	= 7,14		7,16
CO_2	= 26,04		14,41
H_2O	= 1,15		1,21
	105,31		99,50

[1]) „Erläuterungen", Blatt Montabaur, S. 12.

Lager von Toneisenstein finden sich bei Dernbach, Wirges, Staudt, Elgendorf, wo sich folgender Aufschluss gezeigt hat:[1])

Diluvium,
Kohliger Ton,
Toneisenstein mit schwachen Zwischenschichten von Ton,
Kohliger Ton,
Sand, Ton, Quarzgerölle,
Unterdevon (wahrscheinlich).

Die Mächtigkeit der Tonlager ist oft bedeutend. Am Köppel bei Selters z. B. wurde der Ton in 20 m Tiefe noch nicht durchsunken, bei Urbar beträgt die Gesamtmächtigkeit stellenweise 20 m.

B. Die Tone in physikalischer Beziehung.

Hierunter wird zuerst die Schlämmanalyse behandelt, das heisst jene Untersuchungsweise, welche bezweckt, auf mechanischem Wege, unter Benutzung der transportierenden Fähigkeit des Wassers, den Ton in Bestandteile von verschiedener Korngrösse zu zerlegen. Man erhält wertvolle Anhaltspunkte zur Beurteilung eines Tones für die Praxis, was im zweiten Teile (S. 24, 31, 32; 21) näher ausgeführt ist. Dann folgen unter No. 2 und 3 Untersuchungen über die Hygroskopizität und das spezifische Gewicht unserer Tone.

1. Die Schlämmanalyse.

Die Tone des Unter-Westerwaldes sind durch ihre ausserordentliche Plastizität besonders ausgezeichnet. Man kann ihnen bis zu 50 % Magerungsmittel beimengen und bekommt immer noch Massen, die auf der Drehscheibe gut verarbeitbar sind. Dabei ist die in ihnen enthaltene Sandmenge oft schon sehr beträchtlich, sie erreicht nach Fresenius[2]) z. B. in einem Ton von

Hillscheid	35,97 %
Baumbach	19,44 %
Ebernhahn	16,32 %

Nach den näheren Angaben (a. a. O.) kann man sie im einzelnen noch genauer im Sinne Segers ausdrücken:

Hillscheid:	Schluff und Staubsand 11,29 %,	Feinsand 24,68 %
Baumbach:	„ „ „ 10,53 „	„ 8,91 „
Ebernhahn:	„ „ „ 9,66 „	„ 6,66 „

Schluff und Staubsand, also die feinsten Anteile, überwiegen dann in zwei Fällen. Grober Sand fehlt nach Fresenius vollständig; bei unseren Untersuchungen war seine Menge verschwindend klein und überstieg 1 % nie. Der Sand ist also in sehr feiner Form bei-

---

[1]) „Erläuterungen“, Blatt Montabaur, S. 12.
[2]) „Erläuterungen“, Blatt Montabaur, S. 7.

gemengt, ein gewisser Teil davon sogar so fein, dass er auf mechanischem Wege durch Abschlämmen von der Tonsubstanz überhaupt nicht zu trennen ist. Dasselbe gilt auch für die Feldspatreste. Man erkennt dies vor allen Dingen daran, dass der beim Schlämmen mit der geringsten Wassergeschwindigkeit entfernte Teil, also die Tonsubstanz, prozentisch stets grösser ist als die durch die rationelle Analyse gefundene Tonsubstanz (vergl. Tabelle V, S. 20). Es kann aber auch ein direkter Beweis geliefert werden. Ein Ton mit 2,53 % Feldspat wurde nach dem Abschlämmen der Tonsubstanz von neuem der Analyse unterworfen. Man fand nur noch 1,06 %; folglich waren 1,47 % mit der Tonsubstanz abgeschlämmt, das heisst mehr als die Hälfte des vorhandenen Feldspats, genauer 58,10 % waren in feinst zerriebener Form dem Ton beigemengt gewesen.

Wir haben unsere Schlämmanalysen mit dem Schultzeschen Trichter ausgeführt, der für die Praxis durchaus genügende Ergebnisse liefert. Er besteht aus einem hohen Spitzglas, auf dessen Boden man mittels einer Glasröhre das Wasser leitet. Indem dieses in die Höhe steigt, trägt es, je nach seiner Geschwindigkeit, Teilchen bestimmter Grösse fort und lässt sie im oberen Teil abfliessen. Eine genauere Zerlegung nach den von Seger angegebenen Korngrössen des Sandes in Schluff, Staubsand und Feinsand haben wir nicht vorgenommen, sondern uns damit begnügt, den groben Sand und die Tonsubstanz zu bestimmen und nach prozentischer Berechnung beider die Differenz bis 100 als „Schluff und Feinsand“ anzugeben.

Zur Ermittelung des Grobsandes verfuhr man in der Weise, dass man 20 g durch Kochen mit Wasser feinst verteilten Ton über ein Sieb mit 900 Maschen auf 1 qcm schlug, wobei der grobe Sand mit seiner Korngrösse über 0,333 mm hängen bleibt. Man spült ihn ab, spritzt ihn in die Porzellanschale zurück, kocht und wäscht wiederum so lange, bis das Wasser beim Kochen mit dem Sande nicht mehr getrübt wird. Auf diese Weise entfernt man die letzten Reste allerfeinster Substanz, die sehr fest an dem Sande haften. Man trocknet den Sand in einem tarierten Porzellanschälchen und wägt ihn auf einer guten technischen Wage.

Zur Bestimmung der Tonsubstanz verfährt man in folgender Weise: 5 gr lufttrockner Ton werden auf der technischen Wage genau gewogen, in einem Porzellankasserol mit 100 ccm Wasser übergossen und so lange gekocht, unter Umständen unter Zusatz einiger Tropfen Natronlauge, bis sämtliche Klümpchen zergangen sind und keine Spur mehr an den Wänden haftet. Wenn dies erreicht ist, lässt man das Wasser in dem Schultzeschen Trichter steigen. Die Wassersäule ist so bemessen, dass von jedem ihrer Teilchen an der Abflussstelle ein Weg von 0,18 mm/sec zurückgelegt wird. Diese geringste Geschwindigkeit genügt, um die äusserst leichten Partikelchen der Tonsubstanz in die Höhe zu heben und fortzutragen. Während das Wasser im Trichter steigt, giesst man den dünnen Tonbrei hinein und spült das Kasserol nach, was beendigt sein muss, ehe das Wasser die Ausflussöffnung erreicht

hat. Es geht nun ein regelmässiges Spiel vor sich: fortwährend werden die Bestandteile des Tons in die Höhe gehoben und nach einer gewissen Zeit wieder fallen gelassen, nur die Tonsubstanz gelangt bis an die oberste Öffnung und fliesst ab. Hat man zwei derartige Trichter zur Verfügung, so lässt sich die Kontrole gleichzeitig ansetzen und man bekommt bei gewissenhafter Arbeit übereinstimmende Zahlen. Nach einigen Stunden überzeugt man sich, ob alle Tonsubstanz entfernt ist, indem man die abfliessende Flüssigkeit in einem Reagenzglas auffängt und dieses von oben her auf einer schwarzen Unterlage mit einem gleich vollen Rohr Leitungswasser vergleicht. Sind beide Wassersäulen gleich klar, so unterbricht man den Wasserzufluss, lässt den Rückstand absitzen, spült in ein gewogenes Porzellanschälchen, trocknet und wägt als „Schluff und Feinsand". Den bereits ermittelten Grobsand zieht man davon ab. Da aber, wie bereits erwähnt, der abgeschlämmte Teil mehr oder weniger grosse Bruchteile von feinsten Mineraltrümmern enthält, so kann man auf diesem Wege die Tonsubstanz allein in den Tonen des Westerwaldes nicht bestimmen, und es erscheint daher richtiger, um Unklarheiten vorzubeugen, dies Wort bei der Schlämmanalyse überhaupt nicht anzuwenden, sondern den mit einer Geschwindigkeit von 0,18 mm/sec abschlämmbaren Anteil des Tones lieber als „Feinton" zu bezeichnen.[1])

Tabelle I. Schlämmanalysen.

Nr.	Ton von	Feinton	Schluff u. Feinsand	Grobsand
1	Lämmersbach A, roh	62,00	37,50	0,50
2	Lämmersbach A, geschlämmt	67,40	32,60	—
3	Lämmersbach D, mager, geschlämmt	65,00	35,00	—
4	Lämmersbach E, geschlämmt	80,20	19,80	—
5	Baumbach A, mager, roh	58,60	41,00	0,40
6	Baumbach A, mager, geschlämmt	69,40	30,60	—
7	Hillscheid A, von Hr. Breiden, roh	59,20	40,60	0,20
8	Hillscheid B, von Hr. Losske, geschl.	85,10	14,90	—
9	Hillscheid C, fett, roh	94,99	4,34	0,67
10	Urbar (?) oder aus der Nähe, roh	89,70	10,00	0,30
11	Breidscheid B, roh	92,10	7,00	0,90
12	Grenzhausen, nach Seger[2])	68,32	31,50	0,18

[1]) Die vorstehenden Angaben folgen zum Teil einer Arbeit von Dr. Berdel über die Ausführung der Schlämmanalyse im „Sprechsaal" 1903, No. 7. Dort findet man auch Näheres über die Einstellung der Trichter usw.

[2]) Segers Gesammelte Schriften, S. 35.

Man sieht, dass der Feinheitsgrad durchweg sehr beträchtlich ist, indem der Feinton stets überwiegt. Bei Nr. 9 und 11 wächst er in ganz bedeutendem Masse an. Da auch der grobe Sand innerhalb sehr niedriger Grenzen bleibt, so charakterisieren sich in physikalischer Hinsicht die Rohmaterialien als zarte, durch natürliche Prozesse sehr fein abgeschlämmte Tone. Zum Vergleich ist unter Nr. 12 eine Analyse von Seger aufgeführt, aus der eine gute Übereinstimmung mit den Zahlen für Lämmersbach (Nr. 2) und Baumbach (Nr. 6) hervorgeht, welch letzterer Ort von Grenzhausen etwa eine Stunde entfernt liegt.

Man kann durch weiteres Schlämmen den Feinheitsgrad noch erhöhen; bei einer Gelegenheit wurde dies zahlenmässig festgestellt. Man verfuhr in der Weise, dass man 500 g Baumbacher Ton in 5 Litern Wasser aufschwemmte und durch das feinste Sieb schlug (900 Maschen/qcm). In ein Steinzeuggefäss von 1,5 l Inhalt mit einem Tubus am Boden setzte man eine weite Glasröhre ein, die innerhalb des Gefässes nach oben und dann wieder nach unten gebogen war, so dass ihr Ende 3 cm über dem Boden stand; das äussere Ende war durch ein Gummistück mit Quetschhahn abgeschlossen. Man schüttelte die Tonsuspension kräftig durch, goss einen Liter davon in das Gefäss ab, rührte gründlich auf, liess eine halbe Minute absitzen und darauf den gesamten Inhalt in eine Porzellanschale ausfliessen. In der gleichen Weise verfuhr man noch viermal, indem die Dauer des Absitzens langsam gesteigert wurde. Die fünf Schalen blieben 24 Stunden ruhig stehen, darauf goss man das klare Wasser, soweit es ging, ab und verdampfte den Rest davon auf dem Wasserbade. Der trockene Ton wurde nur mit den Fingern zerdrückt und fein zerkrümelt, noch einmal ohne starkes Drücken oder Reiben durch das Sieb geschlagen, und nun wurden von den fünf Proben zweimal je 5 g gewogen und in der beschriebenen Weise der Schlämmanalyse unterworfen. Man fand:

Dauer des Absitzens	$^1/_2$ Min.,	Menge des Feintons	80,6 %
„ „ „	1 „	„ „ „	81,4 „
„ „ „	$1^1/_2$ „	„ „ „	83,6 „
„ „ „	2 „	„ „ „	85,1 „
„ „ „	3 „	„ „ „	88,0 „

2. Die Hygroskopizität der Tone.

Man trocknete in zwei Porzellanschalen einen mageren und einen fetten Ton 20 Minuten lang bei 110° im Trockenschrank, liess im Exsikkator erkalten und wog. Dann stellte man beide Schalen offen im Laboratorium auf und wog nach gewissen Zeiten wieder. Dabei fand sich:

Gewicht d. mageren Tons n. d. Trocknen:	59,85 g		
„ „ „ „ „ 1 Std. Stehen:	59,96	Zunahme:	0,11
„ „ „ „ „ 5 „ „	60,20	„	0,24
„ „ „ „ „ 1 Tag „	60,59	„	0,39
„ „ „ „ „ 3 „ „	60,59	„	0,00
		Gesamtzunahme:	0,74 = 1,23 %

Gewicht d. fetten Tons nach d. Trocknen:	54,49 g		
„ „ „ „ „ 1 Std. Stehen:	54,67	Zunahme:	0,18
„ „ „ „ „ 5 „ „	55,01	„	0,34
„ „ „ „ „ 1 Tag „	55,58	„	0,57
„ „ „ „ „ 3 „ „	55,76	„	0,18
		Gesamtzunahme:	1,27 = 2,33 %

Man sieht, dass der fette Ton eine grössere wasseranziehende Kraft besitzt als der magere. Um zu sehen, wie sich die beiden Tone beim Trocknen verhalten, wog man von ihnen aus den Aufbewahrungsbüchsen im Vorratsraum 5 g auf der technischen Wage ab, brachte sie in ein breites Wägeglas mit eingeschliffenem Stopfen, das vorher getrocknet und auf der Analysenwage gewogen war, und wog nun den Ton bis auf Zehntelmilligramme genau. Das Glas mit dem Ton wurde in den Trockenschrank gestellt, der Stopfen daneben gelegt und bei 100—110° getrocknet. Nach gewissen Zeiten verschloss man die Gläser heiss, brachte sie in den Exsikkator und wog nach dem Abkühlen. Man fuhr mit dem Trocknen fort, bis Gewichtskonstanz eingetreten war. Es wurden folgende Zahlen gefunden:

Magerer Ton:			Fetter Ton:		
Angew.:	5,0082 g		Angew.:	4,9921 g	
n. 1 Std.	4,9319 g	Verl.: 0,0763	n. 1 Std.	4,8965 g	Verl.: 0,0956
„ 1½ „	4,9300 „	„ 0,0019	„ 1½ „	4,8941 „	„ 0,0024
„ 2 „	4,9300 „	„ 0,0000	„ 2 „	4,8925 „	„ 0,0016
„ 2½ „	— „	„ —	„ 2½ „	4,8925 „	„ 0,0000
Gesamtverlust:		0,0782 = 1,56 %			0,0996 = 1,99 %

Man ersieht aus den Zahlen, dass das Wasser im Ton sehr hartnäckig festgehalten wird, besonders in dem fetten Ton, was mit seiner grösseren Feuchtigkeitsaufnahme zusammenhängt.

3. Das spezifische Gewicht der Tone.

Für die Praxis ist es oft nötig, das spezifische Gewicht eines Tones zu bestimmen. Dazu verfährt man in der Weise, dass man ein gewisses Volumen v des in Wasser aufgeschlämmten Tones in einer Messflasche abmisst, sein Gewicht b ermittelt, dann eintrocknet und den Rückstand t wiegt. Das spezifische Gewicht s berechnet sich nach der Formel: $s = \frac{t}{t + v - b}$.[1])

[1]) Kerl, Tonwarenindustrie, 2. Aufl., S. 183 ff.

Wie Kerl dazu bemerkt, muss bei dieser Bestimmung der Wert für t möglichst genau ermittelt werden. Dies ist jedoch nicht ohne weiteres möglich, denn die Tone halten hygroskopisches Wasser hartnäckig zurück (vergl. S. 9). Folglich findet man beim einfachen Trocknen und Wägen t zu gross und seine Stellung im Nenner der Formel hat dann ein zu kleines s zur Folge. Daraus ergibt sich zur Erfüllung obiger Forderung die Notwendigkeit, den Rückstand bis zum konstanten Gewicht zu trocknen, was man bei seiner grösseren Menge mit einem Teil davon vornimmt, worauf man auf das Ganze umrechnet. Der Einfluss dieser Operation zeigt sich klar in folgenden Zahlen, die ich ermittelte für einen

	fetten Ton von Lämmersbach	mageren Ton von Baumbach
nach 20 Min. Trocknen bei 110°:	t = 21,10 g	t = 27,49 g
nach dem Trocknen bis Gew.-Konst.:	t_k = 20,6790	t_k = 27,0600
	b = 113,08 g	b = 117,10 g
	v = 100 ccm	v = 100 ccm
Daraus berechnet sich:	s = 2,6185	s = 2,6458
	s_k = 2,7212	s_k = 2,7169
Die Differenz beträgt:	0,1027	0,0711

Von demselben fetten Ton fand ein Schüler ohne Korrektur

$$s = 2{,}58 \text{ und } 2{,}60, \text{ im Mittel } 2{,}59$$

mit einer guten Übereinstimmung mit meiner unkorrigierten Zahl. Man sieht, dass für einen mageren Ton die Differenz zwischen dem korrigierten und dem unkorrigierten Werte geringer ist als für einen fetten, entsprechend der schon festgestellten geringeren Wasseranziehung des ersteren.

C. Die Tone in chemischer Beziehung.

Die chemische Untersuchung unserer Tone hat sich sowohl auf die Gesamtanalyse als auch besonders auf die sogenannte „rationelle Analyse“ erstreckt. Das Nähere hierüber ist unter Nr. 4 und 5 geschildert; im besonderen findet man in dem ersten Abschnitt eine ausführliche Schilderung der rationellen Analyse mit einigen von mir herrührenden Abänderungen in der Ausführung, die geeignet sind, ihre Genauigkeit bei vermindertem Zeitaufwand wesentlich zu steigern.

4. Die rationelle Analyse.

Die rationelle Analyse ist von Seger in die Technik eingeführt worden und bezweckt, das Hauptverwitterungsprodukt, welches dem Ton seinen Charakter gibt, die Tonsubstanz mit der Segerschen Formel $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ neben den unverwitterten Gesteins-

resten, nämlich Sand und Feldspat, zu bestimmen. Ihr Prinzip besteht darin, dass die Tonsubstanz beim Kochen mit konzentrierter Schwefelsäure in lösliches Tonerdesulfat und gallertartige Kieselsäure zerlegt und letztere durch Kochen mit Natronlauge und Salzsäure entfernt wird, wobei die Gesteinsreste unverändert zurückbleiben. Die Differenz aus dem Gewicht des angewendeten Tons und des Rückstandes ergibt die Tonsubstanz; im Rückstand bestimmt man die Tonerde und berechnet sie als Feldspat, der Rest wird als Sand angegeben. Die Ausführung näher zu beschreiben verspare ich bis zur Erläuterung meines genaueren Weges der rationellen Analyse und begnüge mich an dieser Stelle, auf die diesbezüglichen Aufsätze in Segers Gesammelten Schriften und Dr. Berdels[1]) schöne Zusammenstellung über denselben Gegenstand hinzuweisen. Einige unserer Analysen nebst dreien von Seger zum Vergleich sind in Tabelle II aufgeführt.

Tabelle II. Rationelle Analysen.

Nr.	Ton von	Tonsubstanz	Feldspat	Sand
1	Lämmersbach B, geschlämmt und vor dem Abziehen 10 Min. abgesessen	60,52	2,78	36,70
2	Lämmersbach B, 20 Min. abgesetzt	66,45	1,55	32,00
3	Lämmersbach C, 10 Min. abgesetzt *	67,18	2,98	29,84
4	Lämmersbach D, mager, geschlämmt	62,60	1,40	36,00
5	Lämmersbach E, 3 Min. abgesetzt	63,97	2,53	33,50
6	Baumbach A, mager, geschlämmt	58,00	2,90	39,10
7	Baumbach B, mager, geschlämmt	51,97	2,30	45,73
8	Baumbach C, mager, geschlämmt*	54,46	1,98	46,56
9	Baumbach D, sehr mager, roh	25,60	—	74,40
10	Hillscheid B, fett, v. Hr. Losske, geschl.	73,32	2,97	23,71
11	Hillscheid C, fett, roh	71,00	7,17	21,83
12	Lämmersbach, nach Seger[2])	66,23	2,35	31,42
13	Baumbach, nach Seger[2])	76,30	1,30	22,40
14	Höhr, aus der Fabrik v. Reinh. Hauke, Höhr nach Seger[3])	54,73	3,50	41,77

[1]) „Sprechsaal", 1903, No. 36 ff.
[2]) Kerl, Tonwarenindustrie, S. 505.
[3]) Segers Gesammelte Schriften, S. 348.

Man sieht zunächst, dass die Zusammensetzung der Tone recht wechselnd ist, besonders tritt dies in dem Ton von Baumbach hervor, wo sich in Nr. 9: 25,60 und in Nr. 6: 58,00 % Tonsubstanz gegenüberstehen. Selbst von demselben Fundort schwanken die Analysen beträchtlich, und es ist bekannt, dass sogar in einer und derselben Grube die Tone unmittelbar unter der Humus- oder Bimsanddecke sich ganz anders in ihrer Zusammensetzung verhalten können, als die einige Meter tiefer liegenden. In der Abhandlung „Einiges über die Tone des Westerwaldes“ [1]) wird die ungemeine Variabilität der Tone ebenfalls besonders betont. Man sieht weiter aus dem Vergleich zwischen Nr. 1 und 2, dass man durch längeres Absitzenlassen beim Schlämmen die Tonsubstanz zwar anreichern und Sand und Feldspat herunterdrücken kann, aber jedenfalls nicht im Verhältnis der hierfür aufgewendeten Zeit. Man erkennt auch hieraus wieder, dass eben die letzteren sich zum Teil in einem Zustand feinster Körnung in dem Ton befinden. Unsere Analysen Nr. 2 und 3 stimmen mit der Segerschen Nr. 12 gut überein; dagegen hat, wie man aus dem Vergleich unserer Zahlen für die Tonsubstanz des Baumbacher Tones mit dem Ton Nr. 13 sieht, Seger einen bedeutend fetteren Ton in der Hand gehabt. Nr. 14 habe ich noch mit aufgeführt, weil sich Nr. 8 der Tabelle II und der auf S. 16 erwähnte Lämmersbacher Ton F damit in sehr guter Übereinstimmung befinden. Trotz der Verschiedenheit in der Menge der Tonsubstanz zeigen die Analysen in einer anderen Hinsicht eine Übereinstimmung, die bisher so regelmässig wiedergekehrt ist, dass man sie wohl als charakteristisch für unsere Tone bezeichnen kann, wenn fortgesetzte Untersuchungen dasselbe Ergebnis bringen: das ist die geringe Menge an Feldspatresten, die sich gewöhnlich zwischen 2 bis 3 % bewegt und die obere Grenze selten überschreitet. Abweichend hiervon ist der Hillscheider Ton C mit seinen 7,17 % Feldspat, der infolgedessen sich auch beim Brennen abweichend verhält, indem er bei höherer Temperatur fast völlig dicht wird, was die anderen Tone nicht tun.

Genauer Weg der rationellen Analyse.

Der gewöhnliche Weg der Ausführung der rationellen Analyse schliesst zwei Fehlerquellen ein: das hygroskopische Wasser findet keine Berücksichtigung, und das notwendige häufige Dekantieren verursacht einen mehr oder weniger grossen Verlust an feinsten Teilchen. Über die mögliche Grösse des Fehlers aus der ersten Quelle kann man sich auf Grund der vorstehenden Untersuchungen über die Hygroskopizität der Tone Rechenschaft geben. Man nehme einen gewöhnlichen fetten Ton an. Dieser habe 2 % Feuchtigkeit, was keineswegs zu viel ist. Man habe davon genau 5 g gewogen und einen Rückstand von 2 g gefunden: folglich Ton-

[1]) „Sprechsaal“, 1904, Nr. 41.

substanz = 3 g = 60 %. Da das wirkliche Tongewicht aber nur 4,9 g ist, so beträgt die Tonsubstanz in Wirklichkeit 61,2 %. Nehmen wir einen sehr fetten schwarzen Ton an, so kann die Feuchtigkeit noch grösser sein (vergl. S. 9), sie betrage 2,5 %, was ebenfalls nicht übertrieben ist. Man habe von 5 g 1 g Rückstand gefunden: folglich Tonsubstanz = 4 g = 80 %. Die wahre Tonsubstanz beträgt aber, wenn man die Feuchtigkeit berücksichtigt, 82,1 %. Man sieht, dass man zu niedrige Zahlen findet; der Fehler kann — 2 %, unter ungünstigen Umständen wohl noch mehr ausmachen. Er verschwindet aber sofort, wenn man den Ton bis zur Gewichtskonstanz trocknet. Durch den Verlust feinster Teilchen beim Dekantieren des Tonrückstandes findet man die Tonsubstanz zu hoch. Dieser Fehler ist ebenfalls leicht auszuschalten, und zwar dadurch, dass man das Dekantieren ganz oder wenigstens soweit als möglich vermeidet. Beide Fehler bewegen sich in entgegengesetzter Richtung, und wenn sie sich nicht gerade zufällig die Wage halten, so überwiegt entweder der eine oder der andere, so dass man nicht einmal im stande ist, zu sagen, ob der schliessliche Fehler einen positiven oder einen negativen Sinn hat.

Das Prinzip der Analyse schliesst bereits einen Fehler in sich, indem angenommen wird, dass beim Kochen mit der Schwefelsäure und den darauf folgenden Operationen nur die Tonsubstanz und sonst nichts anderes zersetzt wird. Wenn aber ein Verfahren schon an und für sich mit einem unvermeidbaren Fehler behaftet ist, so ist das ein Grund mehr, die vermeidbaren Fehler auszuschliessen. Tut man dies im vorliegenden Falle, so gewinnt man ausserdem noch den Vorteil eines sicheren Urteils darüber, in welcher Richtung der unvermeidliche Fehler zu suchen ist. Da nämlich bei einer Zersetzung anderer Tonbestandteile ausser der Tonsubstanz die Differenz in jedem Falle vergrössert wird, so kann die Folge nur eine zu hohe Zahl für die Tonsubstanz sein. Es lässt sich einwerfen, dass die rationelle Analyse den Zwecken der Praxis dient und dass die Genauigkeit auf dem gewöhnlichen Wege völlig genüge. Dieses sei zugegeben. Dennoch halte ich den genaueren Weg, den ich vorzuschlagen mir gestatte, weder für unnötig noch übertrieben. In der grösseren Genauigkeit liegt die Gewähr für grössere Sicherheit des Ergebnisses. Das wird man wohl auch für die Praxis als wertvoll anerkennen. Ausserdem ist damit noch ein Gewinn an Zeit verbunden. Nachdem ich hierdurch die Berechtigung für meine Abänderungen erbracht zu haben glaube, sei der genauere Weg im folgenden geschildert:

Zuerst muss man den Ton bis zum konstanten Gewicht trocknen. Man verfährt dazu in der Weise, dass man etwa 5 g Ton auf der technischen Wage abwiegt, in ein genau tariertes Wägeglas bringt und zwei Stunden bei 100 bis 110° trocknet. Man muss dabei darauf achten, dass diese Temperatur nicht überschritten wird; wenigstens habe ich bemerkt, dass namentlich gegen Ende des Trocknens bei einer Steigerung auf 120° anstatt einer Abnahme

wieder eine Zunahme um 0,3 bis 0,9 mg eintrat, für die mir eine beweisbare Erklärung fehlt; vielleicht könnte man an eine Oxydation von *FeO* denken. Nach zwei Stunden Trocknens wird die Flasche heiss verschlossen, im Exsikkator abgekühlt und gewogen, (Analysenwage) nochmals eine halbe Stunde getrocknet und wieder gewogen, wobei sich gewöhnlich Gewichtskonstanz feststellen lässt. Man schüttet den Inhalt des Glases in ein Kasserol von 1 l Inhalt, spritzt es mit Wasser aus, und berechnet aus der Differenz der letzten Wägung mit dem Glasgewicht die angewandte Menge der Substanz. Der Ton wird mit 100 ccm Wasser übergossen und unter Zusatz einiger Tropfen Natronlauge solange gekocht, bis keine Klümpchen mehr vorhanden sind und nichts mehr an den Wänden und am Boden haftet. Hierbei, wie auch bei den folgenden Operationen ist das Kasserol bedeckt zu halten. In Ermangelung eines passenden Uhrglases kann man sich sehr vorteilhaft einer sauberen Porzellanschale bedienen, in die man beim Kochen mit der Schwefelsäure Wasser füllt. Die Schale wirkt dann abkühlend auf die Säuredämpfe und vermindert die Belästigung durch diese. Der Nachteil der Undurchsichtigkeit fällt nicht ins Gewicht. Nach vollständiger Verteilung des Tones im Wasser wird mit 100 ccm reiner konz. Schwefelsäure, die man mit der gleichen Menge Wasser verdünnt hat, gekocht, bis weisse Dämpfe aufsteigen, 10 Min. in starkem Dampfen belassen und nach dem Abkühlen mit Wasser bis zum Rande aufgefüllt. Man lässt das Kasserol zwei Tage lang in erhöhter Lage ruhig stehen und giesst die überstehende Flüssigkeit vorsichtig in ein Becherglas ab. Sobald Flöckchen übergehen wollen, hört man auf und lässt das Gefäss in geneigter Lage stehen, bis sich die Flöckchen wieder gesetzt haben. Bei richtigem Aufschluss kann man fast vollständig in einem Zuge abgiessen, da die abgeschiedene gallertartige Kieselsäure die feinsten Teilchen sehr festhält. Die Hauptmenge der noch vorhandenen schwefelsauren Tonerde wird durch einmaliges Waschen entfernt; darauf erhitzt man mit 400 ccm einer 7 prozentigen Natronlauge bis zum deutlichen Sieden, worauf man die Flamme entfernt. Uhrglas und Glasstab werden mit möglichst wenig Wasser abgespritzt, und das Kasserol ohne weitere Verdünnung 24 Stunden beiseite gestellt. Die Entfernung der Natronlauge wird nunmehr, anstatt wie gewöhnlich durch Abgiessen, durch Abhebern bewirkt. Zu dem Zweck biegt man sich ein Glasrohr zu dem Kasserol so passend, dass man es in die Ausgusslippe fest einhängen kann. Der eintauchende Schenkel wird noch einmal nach oben gebogen, so dass seine Spitze einige Millimeter über dem Bodensatz steht. Der andere Schenkel wird mit einem Gummistück mit Quetschhahn verschlossen. Man füllt den Heber mit Wasser, schliesst ihn und senkt ihn vorsichtig in das erhöht stehende Kasserol. Bei einiger Übung gelingt dies ohne den Bodensatz aufzurühren; andernfalls lässt man wieder eine Zeitlang ruhig stehen, öffnet dann den Quetschhahn und lässt die Flüssigkeit in ein Becherglas laufen. Auf diese Weise kann man

mehr Lauge entfernen als durch Dekantieren, ausserdem ist sie völlig klar. Sollte sie dennoch trübe sein, so macht man mit Salzsäure sauer, lässt absitzen, zieht die Flüssigkeit mit dem Heber ab und gibt die feinen Teilchen wieder in das Kasserol zurück. Zu dem Rückstand gibt man 200 ccm rohe konz. Salzsäure, kocht damit 5 Minuten, verdünnt mit Wasser bis zum Rande und lässt zwei Tage ruhig stehen, worauf nach dem Abhebern der Säure noch einmal mit Natronlauge und zum zweiten Mal mit Salzsäure gekocht wird. Anstatt nun den Rückstand im Porzellangefäss bis zum Verschwinden der Chlorreaktion zu waschen, habe ich es praktischer gefunden, dies auf dem Filter zu tun, wobei ein Zusatz von Ammoniumchlorid das sonst unvermeidliche trübe Filtrieren aufhebt. Man verfährt demnach in folgender Weise: die Salzsäure wird abgehebert, dann die feinsten Teilchen des Rückstandes in ein Becherglas gegossen und der gröbere Teil mit 100 ccm einer 2 prozentigen Salmiaklösung überschüttet. In den Trichter setzt man zwei reine Filter von 11 cm Durchmesser derart, dass überall vier Blatt übereinander liegen und filtriert zuerst den gröberen Teil aus dem Kasserol quantitativ hindurch, doch so, dass das Filter immer nur halb voll ist. Das Filtrat ist absolut klar; sollte dies nicht der Fall sein, so gibt man es noch einmal auf das Filter. Hilft dies auch nicht, so gibt man noch etwas festes Chlorammonium hinzu. Zu der abgegossenen Lösung im Becherglas fügt man 5 g festes reines Ammoniumchlorid, löst es auf und filtriert durch dasselbe Filter, das immer nur halb gefüllt wird. Durch häufiges Ausspülen des Kasserols und des Becherglases mit der Salmiaklösung, und Nachspritzen damit, bringt man schliesslich den gesamten Rückstand auf das Filter. Hier wird er nun mit 300 ccm der Salmiaklösung gewaschen und zwar so, dass man die Waschflüssigkeit in den Trichter gibt, ohne den Rückstand aufzuwirbeln, andernfalls erfolgt leicht wieder eine Trübung des Filtrats. Jetzt füllt man das Filter fast ganz mit der Salmiaklösung an und gibt erst wieder neue hinzu, nachdem die erste vollständig durchgelaufen ist. Ein ungenügendes Auswaschen des Rückstandes dürfte bei dessen körniger Beschaffenheit nicht zu befürchten sein, wenigstens hat sich gezeigt, dass schon nach dem Waschen mit 250 ccm der erwähnten Salmiaklösung das Filtrat beim Eintrocknen und Glühen keinen Rückstand hinterlässt. Man trocknet das Filter bei 100 bis 110°, bringt den Rückstand so gut als möglich in einen genau gewogenen Platintiegel, der auf einem Bogen Glanzpapier steht, und verascht das Filter am Platindraht so vollständig als möglich. Die geringe Menge kohliger Substanz wird durch Glühen im Tiegel vollständig verbrannt, der Tiegel im Exsikkator erkalten gelassen und auf der Analysenwage gewogen. Der Rückstand besteht aus Feldspat und Sand; die Differenz mit dem angewandten Ton ist Tonsubstanz. Das Verbrennen am Platindraht ist nach unseren Erfahrungen nötig, da das Filter von dem Salmiak so durchdrungen ist, dass es im Tiegel sehr schwer vollkommen verascht. Zur Be-

stimmung des Feldspats schliesst man den Rückstand im Tiegel mit Flussäure und Schwefelsäure auf und raucht zweimal mit der ersteren ab, was sich beim Mengen bis zu 2,5 g Rückstand vollkommen ausreichend erwiesen hat. Nach dem Verjagen der überschüssigen Schwefelsäure im Luftbade wird mit heisser verdünnter Salzsäure aufgenommen, etwaige kohlige Teilchen aus der Guttaperchaflasche durch ein ganz kleines Filterchen abfiltriert, dieses dreimal mit heissem Wasser nachgewaschen und nun im klaren Filtrat, nach Zusatz von Salmiak, unter Kochen die Tonerde mit Ammoniak gefällt, abfiltriert, gewaschen, verbrannt und gewogen. Durch Multiplikation ihrer Menge mit 5,45 erfährt man den Feldspat. Der Rest des Rückstandes ist Sand.

Auf diese Weise kann man die Genauigkeit so weit steigern, dass die Kontrolanalyse für die Tonsubstanz bis auf die Zehntelprozente übereinstimmt, was durch die folgenden Zahlen belegt werden kann. Geschlämmter Lämmersbacher Ton F enthielt:

	1. Bestg.	2. Bestg.	Mittel	Nach Körners Methode [1])
Tonsubstanz:	54,45	54,25	54,35	54,21
Feldspat:	2,27	2,34	2,31	2,29
Sand:	43,28	43,41	43,34	43,50

Zum Vergleich wurde derselbe Ton nach Körners Methode untersucht. Diese ist von dem sonstigen Verfahren dadurch verschieden, dass nach dem Kochen mit Schwefelsäure die aufgeschlossene Kieselsäure durch eine stark verdünnte Flussäure auf einmal entfernt wird, wodurch die Analyse hohe Genauigkeit erreicht. Man fand die schon angegebenen Zahlen, die eine sehr gute Übereinstimmung mit den durch meine Arbeitsweise gewonnenen erweisen, woraus erhellt, dass man mit letzterer gleiche Genauigkeit ohne die durch die Flussäure bedingten Umständlichkeiten erzielt; es soll dabei natürlich nicht verschwiegen werden, dass die Flussäuremethode trotzdem die kürzere ist.

Die in Tabelle II, S. 11 unter Nr. 3 und 8 verzeichneten Analysen sind auf die geschilderte genauere Weise gemacht. Um den Unterschied mit dem gewöhnlichen Wege kennen zu lernen, liess ich Ton 3 auch auf diesem Wege von einem gewissenhaften Schüler untersuchen. Da stehen sich folgende Zahlen gegenüber:

	Gewöhnlicher Weg	Genauerer Weg
Tonsubstanz:	69,26	67,18
Feldspat:	2,48	2,98
Sand:	28,26	29,84

Auf Grund der rationellen Analysen in Tabelle II kann man sich auch über das Verhältnis der chemisch gebundenen Kieselsäure

[1]) „Sprechsaal", Jahrgang 36, Nr. 21.

zu der als Sand vorhandenen freien Kieselsäure Rechenschaft geben, wenn man die erstere aus der Tonsubstanz und dem Feldspat in Tabelle II berechnet und dem Sand gegenüberstellt.

Tabelle III. Verhältnis der gebundenen zur freien Kieselsäure.

Nr.	Ton von	chem gebd. SiO_2	Sand
1	Lämmersbach B, geschl., 10 Min. abgesetzt	29,95	36,70
2	Lämmersbach B, geschl., 20 Min. abgesetzt	31,91	32,00
3	Lämmersbach C, geschl., 10 Min. abgesetzt *	33,18	29,84
4	Lämmersbach D, mager, geschlämmt	30,03	36,00
5	Lämmersbach E, 3 Min. abgesetzt	31,39	33,50
6	Baumbach A, mager, geschlämmt	28,86	39,10
7	Baumbach B, mager, geschlämmt	25,66	45,73
8	Baumbach C, mager, geschlämmt*	26,61	46,56
9	Baumbach D, mager, roh	11,91	74,40
10	Baumbach, nach Fresenius[1])	46,58	16,20
11	Hillscheid B, fett, geschlämmt	36,02	23,71
12	Hillscheid C, fett, roh	37,66	21,83

Der Sand übertrifft in acht Proben die chemisch gebundene Kieselsäure; hierdurch tritt es ganz besonders deutlich hervor, welche grosse Rolle er in den Tonen des Unter-Westerwaldes spielt. Betrachtet man die vier Tone, in denen die gebundene Kieselsäure überwiegt, nämlich Nr. 3, 10, 11 und 12, so sind es zunächst die beiden fetten Hillscheider Tone und der Lämmersbacher Ton C mit 67,18 % Tonsubstanz. Man kommt hierdurch zu dem Schluss, dass es besonders fette Tone sein müssen, mit einer Tonsubstanzmenge von etwa 65 %, in denen die gebundene Kieselsäure die freie überwiegt. Daraus folgt dann für den von Fresenius untersuchten Ton Nr. 10, dass dieser auch ein fetter sein muss; berechnet man, mangels der rationellen Analyse, die Tonsubstanz aus der Al_2O_3 der Gesamtanalyse, so findet man 64,55 %, wodurch der obige Schluss bestätigt wird.

[1]) „Erläuterungen", Blatt Montabaur, S. 8.

5. Die Gesamtanalysen.

Über die Gesamtzusammensetzung unserer Tone stehen mir nur wenig Zahlen zur Verfügung, da die praktisch-keramische Tätigkeit während des Laboratoriumsunterrichtes in den Vordergrund treten musste und infolgedessen die Gesamtanalyse seltener ausgeführt wurde. In der folgenden Tabelle IV sind einige von ihnen und zum Vergleich je 2 Analysen von Seger und Fresenius aufgeführt.

Tabelle IV. Gesamtanalysen.

<table>
<tr><th rowspan="2"></th><th colspan="5">Lämmersbacher Ton</th><th colspan="3">Hillscheider Ton</th></tr>
<tr><th>C*</th><th>E</th><th>F*</th><th>n. Seger Tab. II, Nr. 12</th><th>n. Seger Tab. II, Nr. 14</th><th>A</th><th>nach Fresenius [1]</th><th>nach Fresenius [2]</th></tr>
<tr><td>SiO_2</td><td>63,95</td><td>64,90</td><td>65,19</td><td>64,53</td><td>70,12</td><td>65,12</td><td>43,30</td><td>77,03</td></tr>
<tr><td>Al_2O_3</td><td rowspan="2">26,70</td><td rowspan="2">26,97</td><td rowspan="2">23,29</td><td>24,59</td><td>21,43</td><td>21,63</td><td>34,08</td><td>14,06</td></tr>
<tr><td>Fe_2O_3</td><td>1,01</td><td>0,77</td><td>4,36</td><td>3,27</td><td>1,36</td></tr>
<tr><td>CaO</td><td>1,35</td><td>1,56</td><td>3,60</td><td>Spur</td><td>—</td><td>1,15</td><td>0,87</td><td>0,35</td></tr>
<tr><td>MgO</td><td>0,75</td><td>0,48</td><td>0,94</td><td>0,34</td><td>1,39</td><td>0,93</td><td>1,14</td><td>0,47</td></tr>
<tr><td>K_2O</td><td>0,16</td><td>1,70</td><td>1,26</td><td>3,06</td><td rowspan="2">2,62</td><td>0,35</td><td>3,05</td><td>1,26</td></tr>
<tr><td>Na_2O</td><td>—</td><td>—</td><td>0,62</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>H_2O</td><td>7,09</td><td>4,42</td><td>5,31</td><td>6,55</td><td>4,92</td><td>6,46</td><td>12,29</td><td>5,17</td></tr>
<tr><td>TiO_2</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>Spur</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>Summa</td><td>100,00</td><td>100,00</td><td>100,21</td><td>99,98</td><td>101,25</td><td>100,00</td><td>98,00</td><td>99,70</td></tr>
</table>

Die Segersche Analyse des Lämmersbacher Tones Nr. 12 stimmt mit unseren Zahlen hinsichtlich der Kieselsäure und der Tonerde gut überein; die andere weist einen höheren Gehalt an Kieselsäure und einen niedrigeren an Tonerde auf. In den Basen treten auffälligere Abweichungen hervor. Während Seger in beiden Fällen nur eine Spur bezw. gar keinen Kalk findet, ergeben unsere Analysen mehr als 1 %, in einem Falle sogar über 3 % davon, letztere im Ton F, dessen Untersuchung als vollkommen zuverlässig bezeichnet werden darf. Die Magnesiamengen sind höher, als sie

[1]) Kerl, Tonwarenindustrie, 2. Aufl., S. 501.
[2]) „Erläuterungen", Blatt Montabaur, S. 8.

Seger in dem einen, niedriger, als er sie in dem andern Ton gefunden hat. Auch im Vergleich mit den Zahlen, welche Fresenius angibt, stehen die unsrigen in der Mitte. Für den Kalk findet dieser Untersucher auch höhere Werte als Seger, doch bleiben sie ebenfalls noch hinter den unsrigen zurück. Auch das Eisenoxyd wurde von uns höher ermittelt, und zwar zu wiederholten Malen, so dass die Richtigkeit wohl nicht in Frage steht; der Verfasser der Abhandlung: „Über die Tone des Westerwaldes" bemerkt u. a., dass der Eisengehalt über 5 % steigen kann; Fresenius findet ebenfalls höhere Zahlen als Seger. Die Menge der Alkalien ist in einigen Fällen sehr gering, beim Ton C von Lämmersbach sogar so niedrig, dass sie bereits in die Fehlergrenze fällt, da sie, wie die übrigen, aus der Differenz berechnet ist. Nur in der Probe F sind K_2O und Na_2O in einem besonderen Aufschluss mit Flussäure bestimmt worden, und es spricht für die Genauigkeit des Arbeitens, dass die aus der Differenz berechnete Alkalimenge = 1,67 mit der gefundenen = 1,88 so gut übereinstimmt. Auf die niedrigen Alkaliwerte wird man also kein besonderes Gewicht legen können, wenn auch von anderer Seite, z. B. in der eben erwähnten Abhandlung bestätigt wird, dass dieselben sehr gering sein können. Im Hillscheider Ton A findet sich auch noch eine Spur Titansäure: die Prüfung hierauf ist mehrfach gemacht worden und zwar in der Weise, dass nach der Verflüchtigung der Kieselsäure mit Flussäure der Rückstand mit verdünnter Salzsäure aufgenommen und mit Wasserstoffsuperoxyd versetzt wurde. Die auf Titan hinweisende orangegelbe Farbe wurde stets beobachtet. Aus den eben beschriebenen Verhältnissen erkennt man wiederum die grosse Veränderlichkeit in der Zusammensetzung des Westerwälder Tonmaterials.

Um darüber Auskunft zu erlangen, wieweit die Ergebnisse der rationellen Analyse mit denen der Gesamtanalyse übereinstimmen, ist nach Tabelle II für die beiden Tone C und E von Lämmersbach, sowie für die beiden von Seger untersuchten Tone die Kieselsäure, Tonerde, Kali und Wasser berechnet worden. Man fand:

Ton von Lämmersbach C

gefunden	63,95	Kieselsäure,	berechnet	63,02	
„	26,70	Tonerde und Eisenoxyd,	„	27,11	Tonerde
„	0,16	Kali,	„	0,50	
„	7,09	Wasser,	„	9,37	

Ton von Lämmersbach E

gefunden	64,90	Kieselsäure,	berechnet	64,89	
„	26,94	Tonerde und Eisenoxyd,	„	25,75	Tonerde
„	1,70	Kali	„	0,43	
„	4,42	Wasser	„	8,93	

Ton von Lämmersbach nach Seger, Tab. II, Nr. 12

gefunden	64,53	Kieselsäure,	berechnet	63,75	
„	25,60	Tonerde und Eisenoxyd,	„	26,62	Tonerde
„	3,06	Kali,	„	0,40	
„	6,55	Wasser,	„	9,23	

Ton von Reinh. Hanke-Höhr nach Seger, Tab. II, Nr. 14

gefunden	70,12	Kieselsäure,	berechnet	69,49	
„	22,20	Tonerde und Eisenoxyd,	„	22,28	Tonerde
„	2,62	Kali,	„	0,59	
„	4,92	Wasser,	„	7,64	

Man findet bezüglich der Kieselsäure und der Tonerde eine völlig befriedigende Übereinstimmung; die Kalimengen sind in drei Fällen grösser als berechnet, was sich daraus erklärt, dass die Tonsubstanz unserer Tone nach Seger alkalihaltig ist, dafür ist die berechnete Wassermenge durchweg geringer als die theoretische.

D. Folgerungen aus dem Vergleich der rationellen und der Schlämmanalysen.

Aus dem Vergleich der rationellen mit den zugehörigen Schlämmanalysen ergeben sich einige Schlüsse hinsichtlich des Feinheitsgrades der mineralischen Bestandteile und dessen Einfluss auf die Plastizität, die im folgenden unter Nr. 6 beschrieben sind.

6. Der Feinheitsgrad der mineralischen Bestandteile.

Die beiden Tabellen I und II gestatten, für einige Tone zu berechnen, welche Anteile der mineralischen Reste in feinster Form vorhanden sind. Man findet:

Tabelle V.

Nr.	Ton von	Feinton nach Tab. I	Ton-substanz n. Tab. II	Diff. = feinst. min. Reste	Gesamt min. Reste n. Tab. II	Von den min. Resten befinden sich i. feinstem Zustande
1	Lämmersbach D	65,00	62,60	2,40	37,40	6,20 %
2	Lämmersbach E	80,20	63,97	16,23	36,03	45,05
3	Baumbach A	69,40	58,00	11,40	42,00	27,14
4	Hillscheid B	85,10	73,32	11,78	26,68	44,15
5	Hillscheid C	94,99	71,00	23,99	29,00	82,72

Nachdem auf Grund der Schlämmanalysen die Tone im allgemeinen als ein zartes Material bezeichnet worden waren, kann man auf Grund vorstehender Übersicht den Anteil der feinst zerriebenen Mineraltrümmer, den ich kurz als Feinheitsgrad bezeichnen will, durch Zahlen belegen. Zweimal macht von den Gesteinsresten der feinst zerriebene Anteil fast die Hälfte aus. In einem Falle steigt er sogar auf mehr als 45 %, sinkt auch in einem andern Falle wieder sehr stark bis auf 6 % herunter, übrigens das einzige Mal, dass eine so niedrige Zahl zur Beobachtung kam.

Vergleicht man auf Tabelle V Nr. 2 und 3, von denen der eine ein fetter, der andere ein magerer Ton ist, und vergleicht dann beide auf Tabelle II (S. 11, Nr. 5 und 6), so sieht man, dass die absoluten Sandmengen gar nicht so sehr von einander abweichen. Hier stehen einander gegenüber 33,5 : 39,1. Da nun auch die Tonsubstanzmenge nicht sehr verschieden ist, nämlich 58 % in dem mageren, 63,97 % in dem fetten Ton, so scheint es, als ob der Feinheitsgrad, der sich in dem fetten Ton auf fast das Doppelte gegenüber dem mageren Ton stellt, hier auf die Plastizität nicht ohne Einfluss gewesen wäre. Auch der Lämmersbacher Ton D (Tab. II, Nr. 4) bietet ein Beispiel in gleichem Sinne. Er enthält 62,60 % Tonsubstanz, ist aber gegenüber dem Ton E von demselben Ort mit 63,97 % Tonsubstanz mager. Eine Erklärung scheint uns Tabelle V zu bieten, da aus ihr hervorgeht, dass der erste Ton nur 6,2 %, der letzte aber 45,05 % seiner Gesteinsreste in feinstem Zustande enthält.

Das Ergebnis der gesamten Untersuchungen ist folgendes:

Die Tone des Unter-Westerwaldes sind sehr zart, indem die mineralischen Reste sich zum grossen Teil in feinst zerriebenem Zustand befinden, und sehr plastisch, worauf der Feinheitsgrad der Mineraltrümmer nicht ohne Einfluss zu sein scheint; sie sind hygroskopisch, und zwar die fetten Tone stärker als die mageren, und halten das hygroskopische Wasser sehr fest. Die Tone sind arm an Flussmitteln, indem sie selten mehr als 3 % davon enthalten, und reich an Sand, welcher meist, mit Ausnahme der sehr fetten Tone, die chemisch gebundene Kieselsäure überwiegt.

II. Teil.

Der Einfluss einiger Zusätze auf den Sinterungsgrad der Westerwaldtone mit Rücksicht auf die Erzeugung dichter Steinzeugmassen.

Im zweiten Teil soll gezeigt werden, wie sich die Westerwaldtone im Feuer verhalten, und im besonderen, welche Unterschiede im Sinterungsgrade auftreten, wenn man ihnen gewisse Zusätze gibt; in erster Linie wird die Wirkung von Sand, Feldspat und

Bimsand, weiterhin von Trachyt, Phonolith, Chamotte, Flusspat, Marmor und Schwerspat geschildert werden. Den Sinterungsgrad kann man zwar, und bei genügender Erfahrung auch ziemlich richtig, aus äusseren Merkmalen erkennen; doch ist ein solches Urteil für eine vergleichende Untersuchung weder ausreichend, noch wegen der Möglichkeit subjektiver Täuschungen einwandfrei. Sichere und vergleichsfähige Werte für den Grad der Gare gewinnt man aber aus den Zahlen für die Schwindung und namentlich für die Porosität. Diese sind daher der folgenden Darstellung zugrunde gelegt worden.

Es seien zunächst die äusseren Kennzeichen für die Beurteilung des Scherbens, dann der Weg zur Bestimmung der eben genannten Zahlen geschildert.

Die äusseren Merkmale sind in dem Klange der Masse und in bestimmten Eigenschaften des Bruchs gegeben. Den höchsten Grad der Sinterung finden wir in dem glasigen Charakter des Porzellans, der in der stark glänzenden muscheligen bis splitterigen Bruchfläche, den scharfen spitzigen Splitterchen, den schneidenden Bruchkanten und dem vollen schönen Klang seinen Ausdruck findet. Ein geringerer Grad der Durchschmelzung lässt noch scheinbar dichte, aber weniger glänzende Scherben mit unebener und etwas körniger Bruchfläche und glatten oder sehr feinzähnigen Kanten entstehen; der Ton ist hell und scharf, in bauchigen Gefässen voll und tief. Diesen Charakter besitzt im allgemeinen das Steinzeug des Westerwaldes; er sei deshalb kurz als steinig bezeichnet. An der trockenen matten Bruchfläche, dem unebenen, erdig-körnigen Bruch, der augenfälligen, durch das Haften kleiner Stückchen an der Zunge stark hervortretenden Porosität gibt sich jener unvollkommene Grad der Gare zu erkennen, der ein bezeichnendes Merkmal des Steingutscherbens ist.

Die Schwindung und die Porosität ermittelte man an Probesteinen, die in folgender Weise hergestellt wurden: entweder der Ton allein oder „Massen“ davon, d. h. Mischungen aus Ton und Zusätzen, wurden auf einer Glasplatte unter allmählichem Zugiessen von Wasser so lange verrieben, bis das Ganze vor dem Reiber lief, ohne an ihm zu haften und bis alle Klümpchen zergangen waren. Der Brei wurde durch ein 900-Maschensieb geschlagen, auf einer Gipsplatte angesteift, ohne Anwendung eines Spachtels abgerollt, durchgeknetet und sorgfältig in eine Gipsform gepresst. Der entstehende Stein hat die Ausmessungen $9 \times 3 \times 1$ cm; er wird, um ihn möglichst gerade zu erhalten, zunächst einige Tage zwischen zwei Gipsplatten, dann auf einer Glasunterlage unter häufigem Wenden langsam getrocknet. Eine Beschleunigung durch künstliche Wärme ist am besten zu vermeiden, da hierbei leicht ein Verziehen der Steine eintritt, wodurch die Bestimmung der Schwindung ungenau wird. Auf dem völlig lufttrocknen Stein ritzt man in der Längsrichtung eine ganz feine Linie ein und sticht darauf zwei Punkte im Abstand von 7 cm ab, wonach die Probe gebrannt wird.

Zur Bestimmung der Schwindung misst man die neue Entfernung der beiden Marken, zieht sie von der ursprünglichen ab und berechnet aus der Differenz die prozentische Schwindung nach dem Ansatz:

$$\frac{\text{Differenz} \times 100}{\text{Ursprünglichen Abstand}}$$

Zur Bestimmung der Porosität werden einzelne von Splitterchen sorgfältig befreite Stücke mit zwei frischen Bruchflächen auf zwei Dezimalstellen genau gewogen und einige Tage in Wasser gelegt, danach herausgehoben, gut abgetrocknet und wieder gewogen. Nach Notierung der Gewichtszunahme werden die Stücke noch einmal in das Wasser gelegt und durch erneute Wägung die Gewichtskonstanz festgestellt. Aus der Zunahme ergibt sich ohne weiteres das Porenvolumen, da für Wasser 1 g = 1 ccm ist; man berechnet also die Porosität in Prozenten nach dem Ansatz:

$$\frac{\text{Gewichtszunahme} \times 100}{\text{Ursprüngliches Gewicht}}$$

Zum Glattbrennen benutzte ich eine Berliner Scharffeuermuffel, von den Ausmessungen etwa 50 × 30 × 40 cm, und einen Rundofen mit niederschlagender Flamme von etwa $^3/_4$ cbm Inhalt. Zum Messen der Temperatur werden in der keramischen Praxis die sogenannten Segerkegel benutzt, das sind kleine Tetraeder aus Mischungen von Feldspat, Zettlitzer Kaolin, Quarz, Marmor, Eisenoxyd (für niedrige Temperaturen auch Borsäure) nach verschiedenen Verhältnissen, die je nach der Zusammensetzung bei verschiedenen Temperaturen schmelzen. Ich führe die in vorliegender Arbeit erwähnten Kegel nebst ihren geschätzten Schmelztemperaturen hier an.

Segerkegel	010	schmilzt	bei	950°
„	1	„	„	1150°
„	2	„	„	1170°
„	3	„	„	1190°
„	4	„	„	1210°
„	5	„	„	1230°
„	7	„	„	1270°
„	9	„	„	1310°
„	10	„	„	1330°

In der Muffel fällt Segerkegel 7 durchschnittlich nach fünf Stunden bei klarem Feuer; im Rundofen brannte man im oberen Teil Segerkegel 9, im unteren Teil Segerkegel 7 nach durchschnittlich zehn Stunden bei rauchigem Feuer ab.

Im folgenden ist zunächst das Verhalten der unvermischten Tone, dann dasjenige der Massen im Feuer geschildert.

A. Das Verhalten der unvermischten Tone.

Die Brennfarbe ist bei reduzierendem Feuer grau, bei oxydierendem gelblich, stark eisenhaltige Tone zeigen eine braune Farbe. Die Schwindung ist meistens beträchtlich und übersteigt zuweilen 10 %;

fette Tone schwinden stärker als magere, geschlämmte stärker als rohe. Dabei tritt oft ein Verziehen der Scherben auf. Mit der starken Sinterung geht eine starke mechanische Verdichtung Hand in Hand, dazu kommt infolge der Flussmittel im Ton und in der Tonsubstanz (vergl. S. 20) noch eine Verdichtung auf chemischer Grundlage. Dabei schliesst sich der Scherben aber nicht völlig, sondern bleibt, selbst bei hohem Feuer, merklich porös. So nahm z. B. ein Baumbacher Ton, bei Segerkegel 7 gebrannt, noch 0,96, bei Segerkegel 9 noch 0,39 % Wasser auf. Nur einmal habe ich bei Segerkegel 9 eine völlige Verdichtung ohne Zusatz eines Flussmittels an einem geschlämmten Lämmersbacher Ton beobachtet. In der Praxis stellen sich die Porositätszahlen wesentlich ungünstiger: ein Scherben aus dem Salzofen nahm z. B. noch 1,79 % Wasser auf.

Die Erklärung für dieses Verhalten ist in dem hohen Sand- und in dem niedrigen Feldspatgehalt zu finden. Der Sand besitzt bekanntlich eine den Tonscherben stark auflockernde Kraft; diese zu überwinden sind die vorhandenen Flussmittelreste viel zu gering, da sie 3 % selten überschreiten. Wenn ich hier eines der folgenden Ergebnisse vorausnehme, wonach der Sand die verdichtende Kraft des Feldspates selbst in geringer Menge stark herabdrückt, und zwar umsomehr, je niedriger das Feuer ist, so ist es erstaunlich, dass die Porosität nicht noch grösser ist. Es lässt sich zeigen, dass, wenigstens in einzelnen Fällen, die ausserordentlich feine Zerreibung der mineralischen Reste eine günstige Wirkung ausübt, wodurch der Nachteil des hohen Sandgehaltes bis zu einem gewissen Grade ausgeglichen wird. Stellt man gegenüber die beiden Lämmersbacher Tone:

		Schwindg.	Porosität	Brenntemp.	Feinheitsgrad
D	ration. Zusammensetzg. nahezu gleich (Tab. II, S. 11)	5,71	1,05	SK. 7	6,2 % (Tab. V)
E		8,33	0,62	SK. 7	45,05 %

so wird es klar, dass bei der sonstigen Gleichheit der massgebenden Faktoren nur der Feinheitsgrad der Mineralsubstanz den für Ton E günstigen Ausschlag in der Porosität gegeben hat. Dasselbe lehrt der Vergleich der beiden Hillscheider Tone B und C (Nr. 10 und 11, Tab. II):

		Schwindg.	Porosität	Brenntemp.	Feinheitsgrad
B	Tonsubstanz u. Sand stimmen fast überein Feldspat in B: 2,97	10,79	0,50	SK. 7	44,55 %
C	„ „ C: 7,17	8,59	0,03	SK. 7	82,72 %

wenn auch nicht ebenso einwandsfrei, indem man die wesentlich stärkere Verdichtung der Probe C als eine Folge ihrer höheren Feldspatmenge hinstellen könnte. Es kann erst später (S. 31) gezeigt werden, dass der Einwand nicht vollkommen Stich hält, und dass der grössere Feinheitsgrad der mineralischen Reste in Ton C fördernd mitgewirkt hat.

Aus den vorstehenden Ergebnissen geht als das wichtigste hervor: die Tone des Westerwaldes brennen sich nicht vollständig dicht. Infolgedessen sind auch die daraus hergestellten unglasierten Gebrauchsgeschirre nicht vollständig dicht. Wenn nun auch der Grad der Porosität im allgemeinen gering ist und deshalb für gewöhnliche Zwecke nicht in Betracht kommt, so ist die Ware doch für die Aufbewahrung gewisser Flüssigkeiten, z. B. Tinte, Säuren, weniger brauchbar und dadurch in ihrem Wert vermindert. Man musste also auf völlig dichte Massen hinarbeiten, wie sie auch sonst[1]) für feines Steinzeug verlangt werden. Das ist nur durch Einführung von Flussmitteln zu erreichen. Andererseits sind aber auch Magerungsmittel zu berücksichtigen, um der Verziehung der fetten Tone im Feuer entgegenzuarbeiten. Demgemäss wurde zuerst die Wirkung von Feldspat und Sand auf den Sinterungsgrad unserer Tone untersucht. Sie ist im folgenden Abschnitt B unter 1 bis 3 geschildert und zwar unter dem Gesichtspunkt, ob der Scherben zur völligen Dichtheit kommt oder nicht, und wie weit er sich davon entfernt. Unter demselben Gesichtspunkt steht die ganze folgende Erörterung über das Verhalten der Massen.

B. Das Verhalten der Massen bei Segerkegel 7 bis 9.

1. Sand und Feldspat in einem plastischen und sandigen Ton.

Man wählte den Lämmersbacher Ton F (siehe S. 16), der zwar sehr plastisch, aber auch reichlich sandig ist, und mischte ihn mit Sand und Feldspat in den aus Tabelle VI ersichtlichen Verhältnissen, aus der gleichzeitig die Ergebnisse hervorgehen, die bei Segerkegel 7 in der Muffel gewonnen worden sind.

Tabelle VI.

Nr.	Masse aus			Schwindg.	Porosität	Charakter des Scherbens.
	Ton	Sand	Feldspat			
1	90	10	—	6,66 %	2,13 %	Die Steine sehen trocken aus und fühlen sich auch so an. Bruch mehr erdig, der mit steigendem Sand immer mehr hervortritt.
2	80	20	—	6,66	2,49 %	
3	70	30	—	5,00	2,81 %	
4	60	40	—	4,58	4,73 %	
5	50	50	—	3,75	5,07 %	
6	90	—	10	7,08	0,10 %	Bruch anfangs schwach glänzend und glatt, mit steigendem Feldspat tritt ein porzellanartiger, muscheliger u. splittriger Bruch auf.
7	80	—	20	7,50	0,00 %	
8	70	—	30	7,50		
9	60	—	40	7,91		
10	50	—	50	7,50		
Unvermischter Ton				6,66	1,71 %	Bruch steinig, schwachglänzend

[1]) Kerl, Tonwarenindustrie, S. 610.

Der Sand wirkt auf die Schwindung vermindernd, dies kommt aber in den Proben 1 und 2 nicht zum Ausdruck. Die Ursache liegt offenbar darin, dass der Ton mit seinen 43,34 % Sand schon so viel davon enthält, dass neue Mengen, wenn sie nicht beträchtlich sind, hinsichtlich der Schwindung nicht wirksam werden. Erst mit 30 % Sand wird die Wirkung, und dann gleich in sehr energischer Weise, kenntlich. Grössere Mengen von Sand vermindern die Schwindung weiter, aber in geringerem Masse. Dagegen bringt der Feldspat schon in der geringsten Gabe von 10 % seine Schmelzwirkung durch eine vermehrte Schwindung zum Ausdruck und steigert diese mit zunehmender Menge. In den Zahlen für die Porosität macht sich der Sand schon in der geringsten Menge geltend und zwar in dem Sinne, dass diese gegenüber dem unvermischten Ton vergrössert wird. Mit steigendem Sand wird sie immer mehr erhöht, bis sie endlich nahezu das Dreifache des ursprünglichen Betrages erreicht hat. 10 % Feldspat machen den Scherben schon fast völlig dicht, und es ist zweifellos, dass bei dem längeren Feuer im Rundofen die Porosität bis auf den letzten Rest verschwinden würde. Dabei ist die Schwindung nicht beträchtlich vermehrt; bei 50 % Feldspat wird sie sogar wieder vermindert; dies wiederholt beobachtete Verhalten hängt vielleicht damit zusammen, dass ein Teil des allzustarken Zusatzes als Magerungsmittel wirkt, weil er nicht in chemische Reaktion treten kann. Auch im äusseren Ansehen und im Bruch der Scherben bewirken Sand und Feldspat charakteristische Verschiedenheiten. Die Sandscherben sehen trocken aus und fühlen sich auch so an, während die Feldspatscherben einen schwach feuchten, an Porzellan erinnernden Glanz besitzen. Der steinige Charakter des unvermischten Tones geht schon durch 10 % Sand verloren und wandelt sich in einen mehr erdigen um, der mit steigender Menge immer deutlicher hervortritt, während das Korn immer feiner wird. Der Feldspat bewirkt bei 20 % glasige Beschaffenheit, die mit steigendem Gehalt nicht wesentlich erhöht wird, ein Zeichen dafür, dass die stärkste Wirkung damit erreicht ist.

Eine genauere Beziehung zwischen der Menge des Zusatzes und der Wirkung auf Schwindung und Porosität lässt sich aus den Zahlen nicht herauslesen; man findet bei ihrer stufenweisen Berechnung:

Tabelle VII.

bei	Verminderung der Schwindung	Vermehrung der Porosität	bei	Vermehrung der Schwindung	Verminderung der Porosität
10 % Sand	0,00	0,42	10 % Feldspat	0,42	1,61
20 % Sand	0,00	0,36	20 % Feldspat	0,42	0,10
30 % Sand	1,66	0,32	30 % Feldspat	0,00	0,00
40 % Sand	0,42	1,92	40 % Feldspat	0,41	—
50 % Sand	0,83	0,34	50 % Feldspat	—	—

Eine gewisse Gleichmässigkeit in der Wirkung ist wohl vorhanden; bei anderen Versuchen ist ab und zu eine annähernde Proportionalität zwischen Menge und Wirkung zu beobachten gewesen, doch sind solche Ergebnisse zu vereinzelt geblieben, um allgemeine Schlüsse zuzulassen. Man ersieht vielmehr nur dieses, dass an gewissen Stellen ein Maximum der Wirkung auftritt und zwar beim Feldspat früher als beim Sand. Auffällig ist allerdings, dass die Höhepunkte nicht zusammenfallen, dass das Maximum beim Sand z. B. hinsichtlich der Schwindung bei 30 %, hinsichtlich der Porosität bei 40 % liegt, wofür mir eine Deutung nicht zur Verfügung steht. Sehr scharf tritt ferner aus Tabelle VI eine Beziehung zwischen der Schwindung und der Porosität hervor, die sich kurz mit den Worten ausdrücken lässt: Schwindung und Porosität der Massen stehen in einem umgekehrten Verhältnis. Dies Ergebnis ist bisher so regelmässig wiedergekehrt, dass man es mit einem gewissen Recht als Regel aufstellen kann. Nur in Massen mit Kaolin hat sich gezeigt, dass mit steigendem Gehalt davon die Porosität grösser wurde, ohne Rücksicht auf die Schwindung. Diese Erscheinung erklärt sich leicht daraus, dass die Kaolintonsubstanz selbst bei hohem Feuer porös bleibt; die folgenden Zahlen bieten hierfür einen Beleg.

Tabelle VIII.

Nr.	Masse aus		Schwindung	Porosität	Nr.	Masse aus		Schwindung	Porosität
	Lämmersb. Ton E	Dölauer Erde				Hillscheid. Ton	Mügelner Kaolin		
11	90	10	6,71	1,19	16	90	10	7,14	—
12	80	20	7,00	1,46	17	80	20	7,14	—
13	70	30	7,14	2,68	18	70	30	4,50	4,78
14	60	40		3,63	19	60	40	5,00	5,11
15	50	50		4,63	20	50	50	5,50	8,77

Um die Wirkung von Sand und Feldspat bei gleichzeitigem Zusatz beider kennen zu lernen, wurde Masse 7 (Tabelle VI) mit Sand versetzt.

Tabelle IX.

Nr.	Massen aus			Schwindung	Porosität	Charakter des Scherbens
	Ton	Feldspat	Sand			
7	80	20	—	7,50	0,00	schwach glasig, muscheliger und splittriger Bruch
7a	80	20	10	6,66	0,73	Bruch scharfkantig, Bruchfläche uneben und schwach glänzend
7b	80	20	20	6,66	1,56	Glanz und Scharfkantigkeit nehmen ab

Man sieht, dass der Sand mit Feldspat zusammen in der gleichen Weise schwindungsvermindernd gewirkt hat, wie ohne

Feldspat (vergl. Nr. 1 und 2 in Tabelle VI, S. 25), indem Masse 2 in Tabelle VI die gleiche Schwindung von 6,66 % besitzt, wie Masse 7b in Tabelle IX. Seine magernde Wirkung nach dieser Richtung ist also nicht beeinträchtigt worden. Daraus muss sich nach der obigen Regel wieder eine vermehrte Porosität ergeben, was in der Tat der Fall ist. Der Feldspat kann also die auflockernde Wirkung des Sandes selbst in einer Menge von 20 % bei der angewandten Temperatur nicht unterdrücken. Man sieht aber, dass er sie beträchtlich vermindert, indem sich folgende Zahlen gegenüberstehen:

Porosität bei
10 % Sand ohne Feldspat 2,13 (Tab. VI Nr. 1), m. Feldspat 0,73
20 „ „ „ „ 2,49 („ „ „ 2), „ „ 1,56

Im ersten Falle wird die Porosität von 2,13 auf 0,73, also um 65,73 % vermindert, im zweiten Falle von 2,49 auf 1,56, also um 37,51 %, d. h. mit der doppelten Menge Sand wird die verdichtende Wirkung des Feldspats fast um das Doppelte geschwächt. Vergleicht man weiter die Porosität der Masse 7b = 1,56 % mit der des unvermischten Tones = 1,71 % (Tabelle VI), so ist der Unterschied nur noch gering und die Flussmittelwirkung erscheint fast aufgehoben. Auch in dem Charakter des Scherbens tritt die starke Sandwirkung hervor. Schon mit 10 % Sand geht der porzellanartige Charakter verloren und wandelt sich in einen steinigen um. Der Grad der Durchschmelzung wird also heruntergedrückt; das ist eine Beobachtung, die schon bei dem Ton ohne Feldspat gemacht worden ist (vergl. S. 26), woraus sich schliessen lässt, dass in dieser Beziehung der Sand durch den Feldspat ebensowenig beeinträchtigt werden konnte als in Hinsicht der Schwindung. Der Sand wirkt also bei kurzem Feuer stärker lockernd, selbst in geringen Mengen, als der Feldspat verdichtend.

2. Sand und Feldspat in sehr fetten Tonen.

Man wählte die beiden Hillscheider Tone B und C (Tab. I, Nr. 8 und 9, S. 7 und Tab. II, Nr. 10 und 11, S. 11) und unterwarf sie den gleichen Proben. Man fand:

Tabelle X.

Nr.	Masse aus			Schwindung	Porosität	Charakter des Scherbens
	Hillsch. Ton B	Sand	Feldspat			
21	90	10	—	10,00	3,12	Der steinige Charakter tritt schon bei Nr. 21 hinter dem Rohton zurück und geht mit mehr Sand immer mehr in den steingutartigen über; Probe 24 ist so porös, dass sie an der Zunge hängt.
22	80	20	—	8,57	5,52	
23	70	30	—	5,00	6,76	
24	60	40	—	4,28	10,63	
25	90	—	10	10,14	0,00	Nr. 25 ist schwach glasig, Nr. 26 ist stark glasig; dieser Charakter erfährt in Nr. 27 keine wesentliche Steigerung.
26	80	—	20	—		
27	70	—	30	9,85		
Ton von Hillscheid B				10,71	0,50	steinig, Bruch scharf und glatt.

Die Sandwirkung, bezw. die Schwindung ist hier schon bei 10 %, wenn auch schwach ausgesprochen, indem diese von 10,71 auf 10,00 heruntergeht; bei 20 % ist sie sehr stark. Mit steigendem Sand sinkt die Schwindung noch mehr und zwar wesentlich stärker als bei dem Tone von Lämmersbach F. Ähnlich verhält sich die Porosität. Stellt man die betreffenden Zahlen aus den beiden Tabellen VI und X einander gegenüber, so ergibt sich:

Verminderung der Schwindung:

mit 10 % Sand:	Lämmersb. Ton F 0,00,	Hillscheider Ton B	0,71
„ 20 „ „	„ „ „ 0,00,	„ „ „	1,43
„ 30 „ „	„ „ „ 1,66,	„ „ „	3,57
„ 40 „ „	„ „ „ 0,42,	„ „ „	0,72

Vermehrung der Porosität:

mit 10 % Sand:	Lämmersb. Ton F 0,42,	Hillscheider Ton B	2,62
„ 20 „ „	„ „ „ 0,36,	„ „ „	2,40
„ 30 „ „	„ „ „ 0,32,	„ „ „	1,24
„ 40 „ „	„ „ „ 1,92,	„ „ „	3,87

Die Sandwirkung auf den fetten Ton B ist also viel stärker als auf den verhältnismässig mageren Ton F. Auch der Feldspat wirkt energischer, indem schon mit 10 % der Scherben völlig dicht ist und einen schwach glasigen Charakter besitzt, mit 20 % schon durchaus porzellanartig ist.

Gibt man zu der Masse Nr. 26 noch Sand und zwar:

26a.	80 Teile	Hillscheider Ton B	26b.	80 Teile	Ton
	20 „	Feldspat		20 „	Feldspat
	10 „	Sand		20 „	Sand

so verschwindet ihr porzellanartiger Charakter zwar sofort, aber der Scherben bleibt steinig. In den entsprechenden Massen 7a und b aus Lämmersbacher Ton (Tabelle IX) nahm das steinige Aussehen dagegen merklich ab. Die Wirkung des Sandes auf den Sinterungsgrad wäre danach in vorliegendem Falle schwächer. Dass dies aber nur scheinbar ist, erkennt man daran, dass die Masse 26 von vornherein einen stärkeren glasigen Charakter besass als die Masse 7. Der Grad der Gare ist also in beiden Fällen in gleicher Weise heruntergedrückt worden: der stark glasige Charakter von Nr. 26 geht in den steinigen, der schwach glasige Charakter von Nr. 7 geht in den steinig-erdigen über; man kann also sagen: der Sand wirkt auf feldspathaltige Massen in gleicher Weise schädigend hinsichtlich der Durchschmelzung, mag der Ton fett oder mager sein.

Der Hillscheider Ton C ergab folgende Werte:

Tabelle XI.

Nr.	Masse aus			Schwindung	Porosität	Charakter des Scherbens
	Ton C	Sand	Feldspat			
28	90	10	—	7,85	1,14	Wie in Tab. X, Nr. 21—24
29	80	20	—	6,85	1,71	
30	60	40	—	5,71	3,12	
31	90	—	10	8,85	0,00	Wie in Tab. X, Nr. 25—27
32	80	—	20	9,28		
Ton von Hillscheid C				8,59	0,04	steinig, Bruch scharf und glatt

Berechnet man wie vorhin aus dieser Tabelle die Verminderung der Schwindung und Vermehrung der Porosität und stellt sie den Zahlen aus Tabelle VI und X gegenüber:

Verminderung der Schwindung:

	Lämmersb. Ton F	Hillscheid. Ton B	Hillscheid. Ton C
mit 10 % Sand:	0,00	0,71	1,09
„ 20 „ „	0,00	1,43	1,00
„ 40 „ „	2,08	4,29	1,14

Vermehrung der Porosität:

	Lämmersb. Ton F	Hillscheid. Ton B	Hillscheid. Ton C
mit 10 % Sand:	0,42	2,62	1,10
„ 20 „ „	0,36	2,40	0,57
„ 40 „ „	2,24	5,11	1,41

so treten die mit einer Ausnahme niedrigeren Zahlen des Tones C gegenüber B sofort hervor, während sie gegenüber Ton F bis zu 20 % Sand grösser, bei 40 % Sand niedriger sind. Dies besagt, dass die Sandwirkung im Ton C von Hillscheid schwächer ist als im Ton B, aber bis zu einer bestimmten Grenze stärker als im Ton F. Die beiden fetten Tone stimmen also in der stärkeren Wirkung gegenüber mit dem weniger fetten Ton überein und es bestätigt sich das erste Ergebnis, dass die Sandwirkung in fetten Tonen grösser ist als in mageren. Untereinander aber sind die Massen aus den beiden ähnlichen Tonen B und C in ihrer Porosität nicht einmal annähernd gleich, sondern die entsprechenden Zahlen sind bei C wesentlich geringer als bei B. Es stehen sich gegenüber:

Ton B m. 10 % Sand: Porosität	3,12,	Ton C m. 10 % Sand: Porosität	1,14
„ „ „ 20 „ „ „	5,52	„ „ „ 20 „ „ „	1,71
„ „ „ 40 „ „ „	10,63	„ „ „ 40 „ „ „	3,12

Dies Verhältnis ist bereits auf Seite 24 für die beiden unvermischten Tone beobachtet und dort zum Teil auf den Einfluss

des Feinheitsgrades der Gesteinstrümmer zurückgeführt worden, trotz des Einwurfs, dass der Ton C fast dreimal soviel Feldspat enthält als B (7,17 : 2,97 %) und dass dieser sonach als der eigentliche verdichtende Faktor in Frage kommt. Das gleiche gilt an dieser Stelle für die sandhaltigen Massen aus den beiden Tonen; wir sind aber jetzt in der Lage, den Einwand zu entkräften. Es ist allerdings unzweifelhaft, dass der grössere Feldspatgehalt die lockernde Kraft des Sandes weniger hervortreten lässt; wir haben aber andererseits kennen gelernt, dass der Sand bei kurzem Feuer die Feldspatwirkung überwiegt und unter Umständen beinahe aufhebt (vergl. S. 28), so dass, wäre Feldspat allein der verdichtende Faktor, die Zahlen sich nicht so günstig stellen könnten. Es muss also der Umstand, dass im Ton C der Anteil der feinst zerriebenen Mineraltrümmer fast noch einmal so gross ist als im Ton B (82,72 : 44,55, Tab. V, S. 20) im ersten Fall günstig mitgewirkt haben, woraus man wieder den Wert des Feinheitsgrades der Mineraltrümmer erkennt.

3. Ein fetter und ein magerer Ton in Mischung.

Man mischte den fetten Ton von Lämmersbach B (Tab. II, Nr. 1, S. 11) mit dem mageren Ton von Baumbach D (Tab. II, Nr. 9); die Ergebnisse sind folgende:

Tabelle XII.

<table>
<tr><th rowspan="2">Nr.</th><th colspan="4">Masse aus</th><th colspan="3">Schwindung</th><th rowspan="2">Porosität</th><th rowspan="2">Scherben</th></tr>
<tr><th>Lb.Ton</th><th>Bb.Ton</th><th>Feldspat</th><th>Sand</th><th>Luft-</th><th>Feuer-</th><th>Gesamt-</th></tr>
<tr><td>33</td><td>30</td><td>70</td><td>—</td><td>—</td><td>4,28</td><td>2,86</td><td>7,14</td><td>—</td><td rowspan="4">Bruch uneben</td></tr>
<tr><td>34</td><td>40</td><td>60</td><td>—</td><td>—</td><td>2,85</td><td>3,86</td><td>6,71</td><td>—</td></tr>
<tr><td>35</td><td>50</td><td>50</td><td>—</td><td>—</td><td>5,00</td><td>4,28</td><td>9,28</td><td>3,61</td></tr>
<tr><td>36</td><td>60</td><td>40</td><td>—</td><td>—</td><td>3,57</td><td>4,85</td><td>8,42</td><td>—</td></tr>
<tr><td>37</td><td>30</td><td>70</td><td rowspan="4">10</td><td>—</td><td>3,57</td><td>4,85</td><td>8,42</td><td>2,43</td><td rowspan="4">Bruch glatt und scharf</td></tr>
<tr><td>38</td><td>40</td><td>60</td><td>—</td><td>4,00</td><td>4,42</td><td>8,42</td><td>2,07</td></tr>
<tr><td>39</td><td>50</td><td>50</td><td>—</td><td>5,43</td><td>4,99</td><td>10,42</td><td>1,68</td></tr>
<tr><td>40</td><td>60</td><td>40</td><td>—</td><td>4,28</td><td>5,72</td><td>10,00</td><td>1,83</td></tr>
<tr><td>39a</td><td rowspan="3">50</td><td rowspan="3">50</td><td rowspan="3">10</td><td>5</td><td rowspan="3">3,57</td><td>5,76</td><td>9,33</td><td>0,41</td><td rowspan="3">Bruch muschlig, Scherben sehr hart und fest; die Farbe wird immer heller</td></tr>
<tr><td>39b</td><td>10</td><td rowspan="2">5,18</td><td rowspan="2">8,75</td><td>0,48</td></tr>
<tr><td>39c</td><td>15</td><td>0,52</td></tr>
<tr><td colspan="5">Ton von Baumbach D</td><td>2,85</td><td>3,43</td><td>6,28</td><td>4,05</td><td>Bruch uneben</td></tr>
<tr><td colspan="5">Ton von Lämmersbach B</td><td>—</td><td>—</td><td>6,66</td><td>1,71</td><td>steinig</td></tr>
</table>

Indem in den Massen 33—36 der Baumbacher Ton fortwährend abnimmt, vermindert sich auch der Sand, und indem der Lämmersbacher Ton zunimmt, vermehrt sich die Tonsubstanz; von dem ge-

ringen Feldspatgehalt kann man bei der reichlichen Sandmenge ganz absehen. Die beiden ersten Veränderungen wirken aber in gleichem Sinne, nämlich schwindungsvermehrend, und dies tritt in den Zahlen für die Feuerschwindung deutlich hervor. Demgemäss sollte sich die Porosität vermindern; auch dies ist in den Proben 37—39 zu beobachten. Soweit scheint es, als beruhten die Ergebnisse nur auf der Wirkung des Sandes. In den Zahlen für die Luftschwindung zeigt sich aber in Nr. 33—36 ein höchst eigentümlicher dreimaliger Wechsel, ein Fallen und Wiederansteigen, der auch in der Gesamtschwindung wieder hervortritt und der vielleicht mit dem Verhalten der Tonsubstanz zusammenhängt. Die Proben 39a bis c sind bei Segerkegel 7 bis 9 im Rundofen gebrannt worden, während die anderen Proben, wie bisher, in der Muffel bei Segerkegel 7 gebrannt sind. Die Wirkung ist die, dass trotz des Sandzusatzes das Porenvolumen geringer ist als in der entsprechenden sandfreien Masse 39. Dies erklärt sich daraus, dass der Feldspat bei der seinem Schmelzpunkt (er entspricht Segerkegel 9) näher liegenden Temperatur und deren längerer Einwirkung seinen verdichtenden Einfluss energischer zum Ausdruck bringen kann als bei dem kurzen Feuer des Muffelofens. Wir haben also hier das entgegengesetzte festzustellen: der Feldspat überwiegt die Wirkung des Sandes bei langem Feuer. Man wird hieraus den Schluss ziehen können, dass in den bisher geschilderten Brennproben bei Segerkegel 7 die Feldspatwirkung noch nicht zu ihrer vollen Entfaltung gekommen war.

Für die praktische Verarbeitung der Tone zu dichten Steinzeugmassen ergeben sich aus den bisherigen Erfahrungen einige Anhaltspunkte. Man kommt zu einer genügenden, in den meisten Fällen, besonders bei langem Feuer, vollständigen Verdichtung schon mit 10 % Feldspat, wobei gleichzeitig eine Aufhellung der Farbe eintritt. Nur einmal ist mir ein Ton aufgestossen, für den die angegebene Feldspatmenge nicht genügte, und den ich anführen möchte, weil er einen früheren Satz zu bestätigen Gelegenheit gibt. Der Lämmersbacher Ton D nahm mit 20 % Feldspat noch 0,27 % Wasser auf, und wurde erst mit 25 % dicht, wobei die Schwindung nur 6,4 % betrug. Bedenkt man, dass der um rund 8 % Tonsubstanz ärmere und um denselben Betrag an Sand reichere Lämmersbacher Ton F bei derselben Temperatur schon mit 10 % Feldspat fast dicht wird (vergl. S. 25, Tab. VI, Nr. 6), so tritt das Abnorme des Ergebnisses scharf hervor. Die Ursache wird sofort klar, wenn man aus Tabelle V auf S. 20 ersieht, dass in diesem Ton nur 6,2 % der mineralischen Reste in feinst verteilter Form enthalten sind, was ebenfalls ungewöhnlich wenig ist. Also weil hier die Gesteinstrümmer gröber sind, ist die Feldspatwirkung bedeutend schwächer: das ist die negative Form des Satzes, der die günstige Wirkung des Feinheitsgrades der mineralischen Reste ausspricht. Für die Anwendung des Sandes gilt, dass die meisten Tone wegen ihres natürlichen Sandreichtums eines Zusatzes davon

gar nicht bedürfen, und dass man ihn in solchen Fällen möglichst beschränkt, wo man, etwa um dem Verziehen fetter Massen entgegenzuarbeiten oder um hellere Massen zu erzeugen, auf seine Einführung nicht verzichten kann oder will. Von den bei den vorstehenden Untersuchungen gewonnenen Massen haben drei in grösserem Masstabe in der Schule praktische Verwendung gefunden und sich gut bewährt. Ihre Zusammensetzung ist folgende:

Masse B:

	Gew.-Teile		Gew.-Teile		
Tonsubstanz	36,	davon	11	aus	Baumbacher magerem Ton
			25	„	Lämmersbacher fettem Ton
Feldspat	10				
Sand	54				

Masse L:

	Gew.-Teile		Gew.-Teile		
Tonsubstanz	48,	davon	43	aus	Lämmersbacher fettem Ton
			5	„	Dölauer Erde
Feldspat	12				
Sand	40				

Masse L P:

	Gew.-Teile		Gew.-Teile		
Tonsubstanz	43,	davon	38	aus	Lämmersbacher fettem Ton
			5	„	Dölauer Erde
Feldspat	10				
Sand	23				
Gemahl. Porzellanscherben	24				

Unter Nr. 4 wird die Schmelzwirkung des Bimsandes im Vergleich mit Feldspat geschildert, wenn er allein, und wenn er mit Sand zugleich in einen Ton eingeführt wird.

4. Bimsand neben Sand und Feldspat.

An die Stelle des gemahlenen Feldspates habe ich versucht, billigere, in der Nähe vorkommende Flussmittel zu setzen. Der Westerwald ist reich an vulkanischen Gesteinen; unter ihnen tritt besonders der Bimsand hervor, der in schier unerschöpflichen Massen das Gebiet des Westerwaldes in regelmässig geschichteten sekundären Lagern bedeckt, und nach den Analysen meistens einen trachytischen Fluss darstellt, der durch die gleichzeitige Einwirkung von Wasserdämpfen bei der Eruption in ein poröses bröckliges Material von durchschnittlich 5 mm Korngrösse verwandelt worden ist. Aus diesem Grunde lässt er sich leicht feinst pulvern, was ihn gegenüber den harten Eruptivgesteinen, wie Phonolith und Trachyt, für die Praxis besonders empfiehlt. Zu den Versuchen wurde der Bimsand von Höhr benutzt. Dieser bildet bei Seger-

kegel 7 geschmolzen eine glasige, dunkelbraune Masse; ein Kegel aus dem feinstgemahlenen Material fällt kurz vor Segerkegel 1. Gemischt wurde der Lämmersbacher Ton F mit dem Bimsand im Verhältnis 90 : 10 bis 50 : 50. Schon die erste Mischung, mit 10 % Bimsand, war bei Segerkegel 7 völlig dicht und besass mit ihrer grauen Farbe, den scharfen Bruchkanten, der glänzenden glatten bis muschligen Bruchfläche vollkommenen Steinzeugcharakter. Mit 30 % Bimsand bräunt sich der Scherben und geht mit 40 % in ein Dunkelbraun über, mit 50 % bekommt er Schweissglanz. Danach zeigt sich der Bimsand in der Schmelzwirkung dem Feldspat überlegen, was bei seinem wesentlich niedrigeren Schmelzpunkt nicht überrascht. Führt man gleichzeitig Sand ein, so nimmt die Porosität wieder zu, wie die folgende Tabelle zeigt, in die noch die vier parallelen Feldspatproben eingesetzt sind.

Tabelle XIII.

<table>
<tr><th rowspan="2">Nr.</th><th colspan="4">Masse aus</th><th rowspan="2">Schwindg.</th><th rowspan="2">Porosität</th><th rowspan="2">Charakter des Scherbens</th></tr>
<tr><th>Ton</th><th>Sand</th><th>Feldspat</th><th>Bimsand</th></tr>
<tr><td>41</td><td rowspan="4">80</td><td>—</td><td>—</td><td rowspan="4">20</td><td>10,71</td><td>0,00</td><td rowspan="4">Farbe schmutzigbraun bis hellbraun. Nr. 41 ist porzellanartig im Bruch, dieser Charakter geht schon bei Nr. 42 in den steinzeugartigen über, der bei Nr. 44 am schwächsten, aber immer noch steinig ist.</td></tr>
<tr><td>42</td><td>25</td><td>—</td><td>8,57</td><td>0,22</td></tr>
<tr><td>43</td><td>50</td><td>—</td><td>8,85</td><td>1,01</td></tr>
<tr><td>44</td><td>100</td><td>—</td><td>7,14</td><td>2,61</td></tr>
<tr><td>45</td><td rowspan="4">80</td><td>—</td><td rowspan="4">20</td><td>—</td><td>9,43</td><td rowspan="3">0,00</td><td>schmutzigbraun, Bruch muschlig, porzellanartig</td></tr>
<tr><td>46</td><td>25</td><td>—</td><td rowspan="3">8,57</td><td rowspan="2">Farbe hellbraun bis sehr hellbraun, echter Steinzeugcharakter</td></tr>
<tr><td>47</td><td>50</td><td>—</td></tr>
<tr><td>48</td><td>100</td><td>—</td><td>1,14</td><td>rötlich-weiss, Bruch uneben, steinig</td></tr>
</table>

Die Proben sind zwischen Segerkegel 7 und 8 im Rundofen gebrannt worden und bestätigen zunächst wieder den schon ausgesprochenen Satz, dass unter solchen Verhältnissen die Feldspatverdichtung die Auflockerung durch den Sand übertrifft. Hier geht dies so weit, dass selbst 50 % Sand in Probe 47 noch nicht schaden konnten, sondern vielmehr durch eine merkliche Schwindungsverminderung gegenüber Probe 45 genützt haben. Dies günstige Ergebnis ist aber auch der Mitwirkung des Tones zu verdanken, der von schwarzer Farbe, sehr fett und sehr zart war. Eine nähere Untersuchung fehlt leider, nach Analogie eines sehr ähnlichen Tones von Urmitz (nordwestlich Koblenz) mit 86 % Tonsubstanz, schätze ich ihn auf einen ähnlichen Gehalt daran; ausserdem führt er grössere Mengen Eisenoxyd, was man an seiner rötlichen Brennfarbe erkennt. Man konnte erwarten, dass der Bimsand nicht nur

die gleiche Wirkung wie der Feldspat übte, sondern eher noch eine stärkere, da sein Schmelzpunkt niedriger liegt. Es ist aber gerade das Gegenteil der Fall: bei Gegenwart von Sand hat der Bimsand ungünstiger als der Feldspat gewirkt. Dasselbe ist noch ein zweites Mal beobachtet worden, hier aber nicht ganz einwandfrei, so dass man es ausser Betracht lassen muss.

C. Das Verhalten der Massen bei Segerkegel 4.

Mit Rücksicht auf die Höhrer Industrie, die ihre Ware hauptsächlich im sogenannten Kannenofen bei etwa Segerkegel 4 brennt, lag es nahe, den Einfluss der bisher betrachteten Zusätze auf den Sinterungsgrad auch bei dieser Temperatur zu untersuchen, insofern als es eine Verbesserung und damit eine Wertsteigerung der, wie bereits erwähnt, nicht dichten irdenen Gebrauchsgeschirre bedeutete, wenn es gelang, Mischungen in die Praxis einzuführen, die ohne grössere Schwierigkeit und billig herzustellen sind und im Salzofen vollkommen undurchlässige Gefässe liefern. Im folgenden ist unter Nr. 5 und 6 vergleichend gezeigt, in welcher Weise Feldspat, Bimsand, Trachyt und Phonolith bei der niedrigeren Temperatur auf Schwindung und Porosität einwirken, und wie man Massen von den eben beschriebenen Eigenschaften herstellen kann.

5. Feldspat und Bimsand neben Sand.

Man brannte die Massen Nr. 41—48 bei Segerkegel 4 in der Muffel noch einmal. Die Ergebnisse finden sich in

Tabelle XIV.

Nr.	Massen a. 80 T. Ton m.			Schwindg.	Porosität	Charakter des Scherbens
	Bimsand	Feldspat	Sand			
41	20	—	—	10,14	0,00	glasig, scharfkantig u. -eckig, muschlig, jaspisartig
42	20	—	25	10,00	1,65	steinig
43	20	—	50	7,14	3,84	erdig, hängt an der Zunge
44	20	—	100	4,29	9,02	erdig, hängt an der Zunge
45	—	20	—	10,00	0,00	wie Nr. 41
46	—	20	25	9,29	0,00	muschlig bis uneben im Bruch
47	—	20	50	(10,00)	1,05	steinig und etwas glänzend
48	—	20	100	5,30	6,33	erdig, hängt an der Zunge

Im Vergleich mit Tabelle XIII (S. 34) tritt die starke Sandwirkung deutlich hervor, wie die folgende Gegenüberstellung der entsprechenden Porositätszahlen beweist:

Mit Feldspat	Nr. 45	bei Segerkegel 7: 0,00	bei Segerkegel 4: 0,00
	„ 46	„ „ „ 0,00	„ „ „ 0,00
	„ 47	„ „ „ 0,00	„ „ „ 1,05
	„ 48	„ „ „ 1,14	„ „ „ 6,33
Mit Bimsand	Nr. 41	bei Segerkegel 7: 0,00	bei Segerkegel 4: 0,00
	„ 42	„ „ „ 0,22	„ „ „ 1,65
	„ 43	„ „ „ 1,61	„ „ „ 3,84
	„ 44	„ „ „ 2,61	„ „ „ 9,02

In Nr. 46 hat der Feldspat bei Segerkegel 4 noch die auflockernde Wirkung des Sandes zu überwinden vermocht. Man vergleiche hiermit Probe 7a in Tabelle IX (S. 27). Dort sind zu der Mischung von 80 Teilen Ton mit 20 Teilen Feldspat nur 10 % Sand gegeben, hier 15 %, dort wurde bei Segerkegel 7 gebrannt, hier bei Segerkegel 4, und dennoch ist die Probe mit den ungünstigeren Bedingungen dicht und die andere porös, aber wir haben in ersterer einen sehr fetten schwarzen, in letzterer einen weniger fetten sandigen Ton, woraus man wieder erkennen kann, in wie hohem Grade die Wirkung der Zusätze von der Natur des Tones abhängig ist. In Nr. 47 ist die Wasseraufnahme wieder sehr stark, sie beträgt 1,05 %, ist also etwa ebenso stark wie mit der doppelten Menge Sand bei der höheren Temperatur, die auf 1,14 % steigt; in Nr. 48 ist die Porosität sehr bedeutend bis auf 6,33 % gewachsen. Man kommt danach zu derselben Folgerung, die schon für Segerkegel 7 bei kurzem Feuer gezogen wurde, dass der Sand stärker wirkt als die Flussmittel und deren gute Wirkung schädigt. Dasselbe lehrt die Reihe mit Bimsand; die Porositätszahlen sind aber hier noch grösser, wodurch der andere Satz bestätigt wird, dass bei Gegenwart von Sand der Bimsand ungünstiger wirkt als der Feldspat.

Der Einfluss des Bimsandes allein und in Verbindung mit Sand wurde in den folgenden beiden Reihen untersucht, deren Ergebnisse in den Tabellen XV und XVI eingetragen sind.

Tabelle XV.

Nr.	Masse aus			Schwindung	Porosität	Charakter des Scherbens
	Lb. Ton F	Bimsand	Sand			
49	90	10	—	5,83	1,45	Anfangs steinig, geht immermehr in das Glasige über u. tritt bei Nr. 53 am stärksten auf. Nr. 52 u. 53 stellen — für gewisse Zwecke — brauchbare Massen von nicht übler brauner Farbe dar.
50	80	20	—	6,33	0,94	
51	70	30	—	7,55	0,48	
52	60	40	—	9,16	0,03	
53	50	50	—	9,50	0,00	
54	90	10	10	5,00	—	wesentlich erdig, was besonders neben Nr. 49 deutlich wird.
55	80	20		5,41	—	Nr. 55 ist steinig, dieser Charakter steigert sich immer mehr, ohne dass es aber zu einem ausgeprägt glasigen Aussehen kommt wie bei Nr. 53.
56	70	30		7,50	—	
57	60	40		8,33	—	
58	50	50		8,66	—	

Ausser der bekannten schwindungsvermindernden Sandwirkung ersieht man aus der Tabelle XV für den Bimsand keine allzu grosse verdichtende Kraft, indem noch mit 40 % eine allerdings verschwindende Porosität vorhanden ist. Dies hängt mit dem sandigen Charakter des angewandten Tones zusammen. Wir haben bereits bei Segerkegel 7 kennen gelernt, dass in den sandigen Tonen die Wirkung der Flussmittel abgeschwächt ist. Das macht sich hier bei der niedrigeren Temperatur noch stärker geltend. Etwas besser hat der Bimsand in der folgenden Reihe mit dem weniger sandigen Ton von Lämmersbach B gewirkt, indem hier die Porosität geringer ist, mit 10 % Bimsand z. B. nur 0,70 % beträgt, während sie in der gleichen Probe der Tabelle XV noch 1,45 % entsprach.

Tabelle XVI.

Nr.	Masse aus		Schwindung	Porosität
	Ton und Bimsand	Sand		
59	95 Ton 5 Bimsand	—	5,70	0,83
60		25	5,70	2,31
61		50	4,28	4,44
62	90 Ton 10 Bimsand	—	7,10	0,70
63		25	5,70	2,80
64		50	4,28	4,08
65	80 Ton 20 Bimsand	—	7,1	0,60
66		25	5,7	2,30
67		50	5,7	3,20

Besonders stark wächst wieder die Porosität mit dem Sand. Von Nr. 59 ohne Sand mit 0,83 % Porenvolumen wächst sie in

Nr. 60 mit 25 % Sand auf 2,31 %, d. h. etwa das Dreifache.
„ 61 „ 50 „ „ „ 4,40 „ „ „ „ „ Fünffache.

Die höheren Bimsandmengen lassen zwar die absolute Porosität kleiner erscheinen, sie beträgt in Probe 61 : 4,44 %, 64 : 4,08 %, 67 : 3,20 %; auf die entsprechenden sandfreien Massen Nr. 59, 62 und 65 bezogen, steigt sie aber auch bis auf das Fünffache, z. B. von

0,83 % in Probe 59 auf 4,44 % in Probe 61 = 1 : 5,3
0,70 „ „ „ 62 „ 4,08 „ „ „ 64 = 1 : 5,8
0,60 „ „ „ 65 „ 3,20 „ „ „ 67 = 1 : 5,3

ist also gleich stark, mag weniger oder mehr Bimsand zugegen sein. Nachdem auf S. 29 die gleiche Wirkung des Sandes auf Feldspatmassen festgestellt war, mochte der Ton fett oder mager sein, findet sich hier die analoge Ergänzung hinsichtlich der Menge des Flussmittels.

6. Trachyt, Phonolith und Chamotte im Vergleich mit den bisherigen Zusatzmitteln.

Von den Eruptivgesteinen des Westerwaldes schienen mir ausser dem Bimsand auch noch Trachyt und Phonolith als Feldspatmaterialien geeignet, zur Verdichtung von Massen bei niederer Temperatur beizutragen. Ferner wurde beabsichtigt, den magernden Einfluss der Chamotte näher kennen zu lernen und mit dem Sand zu vergleichen. Demnach wurden von diesen Rohstoffen, mit Einschluss des Kalifeldspats, entsprechende Proben hergestellt und auf einmal gebrannt. Die so unter denselben Verhältnissen gewonnenen Ergebnisse möchte ich zusammenhängend besprechen; einige unvermeidliche Wiederholungen werden sich, wie ich hoffe, dadurch entschuldigen, dass sie die Bestätigung früherer Ergebnisse enthalten.

Tabelle XVII.

Nr.	Masse aus			Schwindung	Porosität
	Ton	Zusatz			
68	90	10	Bimsand	10,00	0,46
69	80	20		10,30	0,16
70	60	40		11,43	0,00
71	90	10	Feldspat	11,33	0,16
72	80	20		11,43	0,00
73	60	40		12,14	0,00
74	90	10	Trachyt von Selters	9,28	0,00
75	80	20		10,04	0,00
76	60	40		9,28	0,00
77	90	10	Phonolith vom Malberg bei Wirges	10,09	0,67
78	80	20		11,66	0,00
79	60	40		—	0,00
80	90	10	Chamotte	11,40	1,81
81	80	20		10,00	2,40
82	60	40		9,30	2,97
83	90	10	Sand	10,00	2,07
84	80	20		9,28	3,49
85	60	40		7,14	6,37
Ton von Lämmersbach, geschlämmt				10,71	1,02

Der rohe Ton sieht trocken aus und fühlt sich auch so an. Ebenso verhalten sich die Proben mit Sand und Chamotte, bei denen dieser Charakter noch gesteigert erscheint. Die Proben mit

Bimsand machen dagegen schon von 10 % an einen glatteren, fettigeren Eindruck, der sich bis zu 40 % steigert. Das gleiche beobachtet man bei den Feldspat-, Phonolith- und Trachyt-Scherben; bei den letzteren zeigt sich schon mit 20 % eine oberflächliche, ganz schwach glänzende Schmelzschicht, die bei 40 % mit vollkommener Deutlichkeit hervortritt. Eine Färbung der Masse ist mit 20 % Bimsand noch nicht zu bemerken, mit der doppelten Menge ist der Stein bräunlich. 20 % Trachyt liefern eine angenehme graue Farbe, 40 % davon einen dunkelbraunen Ton, der für manche Zwecke brauchbar erscheint, und den ich einige Male mit Vorteil verwendet habe. Im Bruch zeigt der unvermischte Ton scharfe Kanten und eine ziemlich glatte, sehr feinkörnige Bruchfläche, macht aber dabei einen trockenen erdigen Eindruck, der ja auch schon äusserlich vorhanden war. Auch bei den Proben mit Sand und Chamotte waltet im Bruch der erdige Charakter vor und steigert sich in Nr. 82 und 85, die je 40 % des Magerungsmittels enthalten, so weit, dass die Glätte des Bruches merklich verschwindet und dafür ein sehr körniges zerreibliches Aussehen auftritt. Die gemagerten Proben machen einen stark porösen Eindruck, was dann noch besonders scharf zu erkennen ist, wenn man die Proben mit den Flussmitteln dagegen hält. Schon Nr. 68 mit 10 % Bimsand sieht dicht und steinig aus, ebenso verhalten sich Nr. 71, 74, 77 mit je 10 % Feldspat, Trachyt und Phonolith. Dieser Charakter steigert sich mit der Menge des Flussmittels und geht schliesslich in einen glasigen über, indem der Bruch muschlig bis splittrig wird, und die Bruchfläche ein glänzendes, an Porzellan erinnerndes Ansehen erhält. Besonders deutlich erscheint dies bei den Nr. 73, 76, 79 mit je 40 % der Flussmittel und Nr. 75 mit 20 % Trachyt. Für die Chamotte, die allerdings sehr fein im Korn war, erkennt man aus den Zahlen für die Porosität, dass sie viel weniger lockernd auf den Scherben als der Sand gewirkt hat; es stehen sich gegenüber:

2,07 %	Porenvolumen	mit	10 %	Sand,	1,81 %	mit	10 %	Chamotte
3,49 „	„	„	20 „	„	2,40 „	„	20 „	„
6,37 „	„	„	40 „	„	2,97 „	„	40 „	„

Ein völlig dichter Scherben entsteht mit 40 % Bimsand; dasselbe erreicht man mit 20 % Feldspat oder Phonolith und mit 10 % Trachyt. Dieser wirkt also am stärksten, während der Bimsand am schwächsten wirkt und hinter dem Feldspat zurücksteht. Dies Ergebnis liefert eine Ergänzung zu dem früheren, nach welchem bei gleichzeitiger Einführung von Sand die Feldspatscherben dichter als die entsprechenden Bimsandscherben waren. Trotz des höheren Schmelzpunktes behauptet also der Feldspat eine bessere Flusswirkung als der Bimsand; das ist praktisch insofern von Wert, als es voraussehen lässt, dass man mit 10 % Feldspat auch bei Segerkegel 4 dichte Massen wird erzeugen können, wenn das Garbrennen in einem grossen Ofen bei langem Feuer vor sich geht, was in der

Praxis ja der Fall ist. Man hat dabei den Vorteil eines reinen Materials, das den Scherben nicht verfärbt. Trachyt, Phonolith und Bimsand tun dies bis 20 % auch nicht merklich, aber sie müssen dann feinst gemahlen und innigst gemischt sein, und ganz sicher vor Eisenflecken ist man bei solchen eisenhaltigen Rohstoffen doch nicht. Dagegen stellen diese, und unter ihnen namentlich der Bimsand, wegen ihrer Billigkeit das passendste Material dar, wenn es sich nur darum handelt, dichte Massen für gewöhnliche gesalzene Ware, z. B. Einmachtöpfe, Tintenkrüge usw., herzustellen. Die obige starke Feldspatwirkung steht im Einklang mit der von Dr. Berdel[1]) festgestellten Tatsache, dass dies Material schon bei Segerkegel 2 beginnt, eine verdichtende Wirkung auszuüben.

7. Calcium- und Baryumsalze in dichten Massen.

Es sei noch einiger Salze Erwähnung getan, die in hohem Grade befähigt sind, einen porösen Scherben vollkommen dicht zu machen. In dieser Beziehung hatte sich Marmor bei einer Gelegenheit hervorgetan, indem eine Masse von 2,7 % Porenvolumen mit 2,5 % des Karbonats bei Segerkegel 5 gebrannt, nur noch 0,13 % Wasser aufnahm. Es war zu vermuten, dass die hier ausgesprochene stark verdichtende Kraft in Massen von geringer Porosität besonders wirksam sein werde. Die Bestätigung suchte man an Masse 7a zu erbringen, wobei auch noch Flusspat und Schwerspat herangezogen wurden. Die ersten Proben versah man mit 3 bis 13 % der Zusätze; das war aber zu viel, denn sie waren bei Segerkegel 7 alle blasig, mit 10 % Flusspat war der Scherben zerflossen. Infolgedessen ging man mit den Zusätzen auf je 1 % herunter und fand bei Segerkegel 7:

100 Teile Masse 7a

86.	mit 1 Teil Marmor:	Schwindung	6,78 %,	Porosität	0,00 %
87.	„ 1 „ Flusspat:	„	6,78 „	„	0,00 „
88.	„ 1 „ Schwerspat:	„	7,14 „	„	0,00 „
	Masse 7a:	„	6,66 „	„	0,73 „

Es bestätigt sich also, dass Marmor, Flusspat und Schwerspat schon in sehr geringen Mengen auf poröse Massen von günstigster Wirkung sind; um sie auch für Kegel 4 zu erproben, wandte man Masse 69 an und fand:

100 Teile Masse 69

89.	mit 1 Teil Marmor:	Schwindung	11,02 %	Porosität	0,16 %
90.	„ 5 „ „	„	10,25 „	„	1,48 „
91.	„ 1 „ Flusspat:	„	11,43 „	„	0,00 „
92.	„ 1 „ Schwerspat:	„	12,85 „	„	0,00 „
	Masse 69:	„	10,30 „	„	0,16 „

[1]) „Sprechsaal“ 1904, Nr. 2 bis 11.

Während sich also auch hier mit Flusspat und Schwerspat eine vollständige Verdichtung eingestellt hat, bewährt sich der Marmor nicht in gleicher Weise. Die Porosität mit 1 % davon ist unverändert = 0,16 % geblieben, mit 5 % aber wesentlich gesteigert. Augenscheinlich hat die entweichende Kohlensäure den Scherben gelockert und der zurückbleibende Kalk nicht die Zeit oder Gelegenheit gefunden, in ausreichender Weise chemisch in Reaktion zu treten, denn dass eine solche vorhanden ist, das lehrt in Nr. 89 die vergrösserte Schwindung gegenüber Masse 69 (11,02 % : 10,30 %). Der Beweis liess sich schnell erbringen durch Einlegen der beiden Marmorproben in verdünnte Salzsäure und den Nachweis von Kalk, der in Nr. 89 spärlich, in Nr. 90 reichlich auftrat. Die Porosität des mit Salzsäure ausgelaugten Scherbens wurde gefunden bei Nr. 89 zu 0,28, bei Nr. 90 zu 1,95 %, war also in beiden Fällen vergrössert, denn sie betrug vorher nur 0,16 bezw. 1,48 %.

In den vorstehenden Proben sind eine Anzahl Massen enthalten, die bei Segerkegel 4 völlig dicht brennen; von ihnen hat Nr. 91 in grösserem Masstabe praktische Verwendung gefunden. Sie eignet sich sowohl für Unterglasurmalerei als auch für Laufglasuren, welch letzteren bei der völligen Dichtheit des Scherbens das Gefäss nicht ganz zu bedecken brauchen, wodurch man Wirkungen erzielt, die gewissen japanischen Steinzeugwaren ungemein ähnlich sehen. Im Kannenofen gesalzen nimmt sie eine angenehme graue Farbe an, trägt die Smalte gut und wird ebenfalls vollkommen dicht.

Die Ergebnisse des II. Teiles lassen sich in folgenden Sätzen aussprechen:

1. Die Tone des Unter-Westerwaldes bleiben selbst bei hohem Feuer noch merklich porös. Dies ist eine Folge ihres grossen Sand- und geringen Feldspatgehalts. Zur Erzeugung dichter Steinzeugmassen muss man ihnen Flussmittel beigeben.

2. Der Feinheitsgrad der mineralischen Reste wirkt auf die Verdichtung der Tone günstig ein.

3. Bei Einführung von Fluss- und Magerungsmitteln in die Tone stehen Schwindung und Porosität der Massen in einem umgekehrten Verhältnis. Für kaolinhaltige Massen trifft das nicht zu.

4. Die Wirkung von Sand und Feldspat ist von der Natur des Tones abhängig: in fetten Tonen ist sie stärker als in mageren Tonen.

5. Sand wirkt auf feldspathaltige Massen bei hoher Temperatur, aber kurzem Feuer, und bei niederer Temperatur nachteilig, indem er die Porosität vergrössert. Hierbei hat sich der Charakter des Tones ohne Einfluss gezeigt. Bimsandhaltige Massen werden ebenfalls gelockert; hierbei hat sich die Menge des Flussmittels ohne Einfluss gezeigt.

6. Bei hoher Temperatur und langem Feuer überwindet der Feldspat die schädliche Wirkung selbst beträchtlicher Sandmengen.

7. Bimsand steht als Flussmittel bei Gegenwart von Sand und bei der Schmelztemperatur des Segerkegels 4 hinter dem Feldspat zurück, übertrifft ihn aber bei der Temperatur des Segerkegels 7 und bei Abwesenheit von Sand.

8. Trachyt übertrifft bei Segerkegel 4 die Schmelzwirkung des Feldspats und des Phonoliths und die beiden letzten wieder die des Bimsandes.

9. Flusspat und Schwerspat wirken schon in sehr geringen Mengen bei Segerkegel 4 und 7 verdichtend auf schwach poröse Massen; Marmor tut dasselbe bei Segerkegel 7.

III. Teil.

A. Porzellan und Steingutmassen aus gewöhnlichen Westerwaldtonen neben Kaolin.

Nachdem im zweiten Teil die Verarbeitung der Westerwaldtone zu dichten Steinzeugmassen erläutert worden ist, soll im vorliegenden Abschnitt an der Hand einiger im Laboratorium hergestellten Massen gezeigt werden, dass unsere Tone auch zur Herstellung genügend weisser Porzellan- und Steingutmassen geeignet sind; vermöge ihrer hohen Plastizität sind sie auf alle Fälle befähigt, bei Einführung in die kurzen Kaolinmassen diese leichter verarbeitbar zu machen, und die weissen Tone von Ebernhahn (Amt Selters) finden schon lange eine dahingehende Anwendung.

In einem geschlämmten Kaolin von Mügeln und einer mageren Erde von Dölau standen uns zwei ausgezeichnete Kaoline zur Verfügung. Letzterer war von der Firma Gebr. Baensch in Dölau (Bezirk Halle), ersterer von der „Ofen-Porzellan- und Tonwarenfabrik Mügeln“ (Bezirk Leipzig) freundlichst zur Verfügung gestellt worden. Der Kaolin von Mügeln besteht nach einer Untersuchung des „Chemischen Laboratoriums für Tonuntersuchung“ in Berlin aus:

86,50	Teilen	Tonsubstanz
0,51	„	Feldspat
12,99	„	Sand,

ist von rein weisser Farbe und brennt sich blendend weiss. Der Dölauer Kaolin ist ebenfalls ein reines weisses Material mit einem leichten Stich ins Gelbliche mit

67,00	Teilen	Tonsubstanz
2,89	„	Feldspat
30,11	„	Sand,

und von sehr zarter Beschaffenheit, wie die Schlämmanalyse beweist, welche

94,1 % Feinton
5,9 „ Feinsand und Schluff

ergab. Die Brennfarbe ist fast weiss.

Die Porzellanmassen bekamen die gemeinsame Zusammensetzung

50 Teile Tonsubstanz
25 „ Feldspat
25 „ Sand

und wurden in der Weise variiert, dass von der Tonsubstanz

I.	30	Teile	aus	Kaolin,	20	Teile	aus	Ton,
II.	35	„	„	„	15	„	„	„
III.	38	„	„	„	12	„	„	„
IV.	40	„	„	„	10	„	„	„

entnommen wurden. Der Ton stammte aus Baumbach, war sehr plastisch und sorgfältigst geschlämmt und enthielt

58,01 Teile Tonsubstanz
2,90 „ Feldspat
39,09 „ Sand.

Die Probesteine wurden bei Segerkegel 9 im Rundofen gebrannt. Es zeigt sich, dass in der ersten Versuchsreihe mit Dölauer Kaolin Nr. I und II noch einen deutlich grauen Stich haben, Nr. III merklich besser ist und endlich Nr. IV eine ganz befriedigende weisse Farbe besitzt, die unter einer weissen Glasur noch etwas reiner erscheint. Hinsichtlich des sonstigen Porzellancharakters stimmen alle Proben überein: der Bruch ist muschlig, die Bruchfläche glänzend, die Dichtigkeit vollkommen. Die zweite Versuchsreihe mit Kaolin von Mügeln zeigte, dass schon Nr. III eine befriedigende weisse Farbe und im übrigen vollständigen Porzellancharakter hat. Vermindert man in ihr den Feldspat um 3 % zu gunsten des Sandes, so entsteht eine sehr feinkörnige Masse ohne Schweissglanz, die als Figurenmasse geeignet ist. Dagegen befriedigte eine dritte und vierte Reihe mit einem Lämmersbacher und einem Hillscheider Ton sowohl mit Mügelner, wie mit Zettlitzer Kaolin, selbst bei möglichster Steigerung des letzteren, hinsichtlich der Weisse des Scherbens nicht in gleichem Masse. Man sieht, dass nicht jeder Ton für Porzellanmassen geeignet ist, sowie, dass man die Kaolinmenge ziemlich hoch steigern muss, um ein genügend reines Weiss zu erhalten. Aber auch die mit weniger Kaolin hergestellten Proben waren durchaus nicht immer verwerflich. Wenn sie auch als Porzellanmassen nicht zu brauchen waren, so doch als feine Steinzeugmassen; namentlich eine von ihnen gab einen feinkörnigen, perlfarbenen Scherben mit einer mattschimmernden Oberfläche, der dem bekannten grauen Scherben der besten japanischen Steinzeugarbeiten nahe kam. Diese als „japanische Masse“ bezeichnete Mischung hat die Zusammensetzung:

Tonsubstanz 45 Gew.-Teile, davon 20 Gew.-Teile aus geschlämmtem Ton von Baumbach
25 „ aus Kaolin von Mügeln
Feldspat 22 „
Sand 33 „

Drei Porzellanmassen haben folgende Zusammensetzung:

Figurenmasse:

Tonsubstanz 50 Gew.-Teile, davon 12 Gew.-Teile aus geschlämmten Ton von Baumbach
38 „ aus Kaolin von Mügeln
Feldspat 22 „
Sand 28 „

Geschirrmasse mit Kaolin von Mügeln:

Tonsubstanz 50 Gew.-Teile, davon 12 Gew.-Teile aus geschlämmtem Ton von Baumbach
38 „ aus Kaolin
Feldspat 25 „
Sand 25 „

Geschirrmasse mit Kaolin von Dölau:

Tonsubstanz 50 Gew.-Teile, davon 10 Gew.-Teile aus geschlämmtem Ton von Baumbach
40 „ aus Kaolin
Feldspat 25 „
Sand 25 „

Mehrfache Versuche mit den Tonen von Lämmersbach, Hillscheid und Baumbach in Verbindung mit denselben beiden Kaolinen von Mügeln und Dölau haben auch brauchbare Steingutmassen hervorgebracht. Von diesen sei nur eine nebst dazu passender Glasur angeführt, die sich in einem grösseren Ofen gut bewährt hat, während die anderen Glasur- und Masseproben nur in einem kleinen Versuchsofen gebrannt werden konnten. Diese Masse bildet, bei Segerkegel 4 gebrannt, einen harten, klingenden, weissen und sehr porösen Scherben und besteht aus:

40 Gew.-Teilen Tonsubstanz, davon 30 Gew.-Teile aus Kaolin von Mügeln
10 „ „ geschl. Lämmersbacher Ton
60 „ Sand.

Die Glasur wird bei Segerkegel 4 aufgebrannt und setzt sich zusammen aus:

80 Teilen Fritte I
20 „ „ II
30 „ Sand
20 „ rohem Zettlitzer Kaolin.

Die beiden Fritten sind von Seger angegeben; ihre Formeln sind:

I. $\left.\begin{array}{l} 0{,}25\,K_2O \\ 0{,}25\,Na_2O \\ 0{,}25\,CaO \\ 0{,}25\,BaO \end{array}\right\}$ $1{,}6\,SiO_2\;0{,}4\,B_2O_3$

II. $\left.\begin{array}{l} 0{,}25\,K_2O \\ 0{,}25\,Na_2O \\ 0{,}25\,CaO \\ 0{,}25\,BaO \end{array}\right\}$ $3{,}2\,SiO_2\;0{,}8\,B_2O_3$

Zu ihrer Herstellung schmilzt man bei 1050° folgende Stoffe zusammen:

Fritte I:			Fritte II:		
34,50	Gew.-Teile	Pottasche	34,50	Gew.-Teile	Pottasche
26,50	"	calc. Soda	26,50	"	calc. Soda
25,00	"	Marmor	25,00	"	Marmor
49,25	"	Witherit	49,25	"	Witherit
96,00	"	Sand	192,00	"	Sand
49,60	"	krist. Borsäure	99,20	"	krist. Borsäure

B. Glasuren und farbige Gläser für Porzellanmassen.

Für die eben beschriebenen Porzellanmassen sind eine Reihe von Glasuren ausprobiert worden, die in der Tabelle XVIII als Ergebnisse praktischer Arbeiten zusammengestellt sind.

1. Glasuren für Porzellanmassen.

Am besten zeigten sich Glasuren mit 0,5 Äquivalent Tonerde, während diejenigen mit 0,6 Äquivalent hier und da eierschalig wurden und endlich jene mit 0,7 bis 0,9 Äquivalent sich als zu hart erwiesen. Wenn einzelne der folgenden Glasuren in einem Falle als gut, im anderen als weniger gut bezeichnet sind, so liegt die Erklärung darin, dass sie auf Massen von verschiedener Zusammensetzung gebracht wurden.

Tabelle XVIII.

Nr.	RO	Al_2O_3	SiO_2	Ergebnis	Versatz
1	0,3 K_2O 0,4 CaO 0,3 BaO	0,5	4,0	völlig klare blanke Glasur, auch gut bei kürzerem Feuer, sehr geeignet für Unterglasurfarben; wiederholt bewährt	166,8 Feldspat 40,0 Marmor 59,1 Witherit 51,6 roh. Zettl. Kaolin 108,0 Sand
2	0,3 K_2O 0,4 CaO 0,3 BaO	0,5	4,5	sehr gut bei kurzem und langem Feuer	166,8 Feldspat 40,0 Marmor 59,1 Witherit 51,6 roh. Zettl. Kaolin 138,0 Sand
3	0,3 K_2O 0,4 CaO 0,3 BaO	0,5	5,0	sehr gut bei kurzem und langem Feuer	166,8 Feldspat 40,0 Marmor 59,1 Witherit 51,6 roh. Zettl. Kaolin 168,0 Sand

Nr.	RO	Al_2O_3	SiO_2	Ergebnis	Versatz
4	0,3 K_2O 0,4 CaO 0,3 BaO	0,55	5,0	sehr gut bei kurzem und langem Feuer	166,8 Feldspat 40,0 Marmor 59,1 Witherit 64,5 roh. Zettl. Kaolin 162,0 Sand
5	0,3 K_2O 0,4 CaO 0,3 BaO	0,6	4,0	sehr gut in einem Falle. Bei kurzem und langem Feuer Ausscheidungen, infolge zu wenig SiO_2	166,8 Feldspat 40,0 Marmor 59,1 Witherit 77,4 roh. Zettl. Kaolin 96,0 Sand
6	0,3 K_2O 0,5 MgO 0,2 CaO	0,6	4,0	bei kurzem Feuer gut, bei langem Ausscheidungen	166,8 Feldspat 42,0 Magnesit 20,0 Marmor 77,4 roh. Zettl. Kaolin 96,0 Sand
7	0,3 K_2O 0,4 CaO 0,3 BaO	0,6	5,0	bei kurzem und langem Feuer klar und blank, in einem Falle eierschalig	166,8 Feldspat 40,0 Marmor 59,1 Witherit 77,4 roh. Zettl. Kaolin 156,0 Sand
8	0,3 K_2O 0,5 MgO 0,2 CaO	0,6	5,0	gut, aber hinter 7 zurückstehend	166,8 Feldspat 42,0 Magnesit 20,0 Marmor 77,4 roh. Zettl. Kaolin 156,0 Sand
9	0,3 K_2O 0,4 CaO 0,3 BaO	0,7	5,0	in einem Falle klar, in zwei anderen noch nicht völlig klar und nicht blank	
10	0,2 K_2O 0,5 MgO 0,2 CaO	0,7	5,0	in zwei Fällen ziemlich klar. Bei kurzem Feuer zu hart	
11	0,3 K_2O 0,4 CaO 0,3 BaO	0,7	6,0	zu hart	
12	0,3 K_2O 0,5 MgO 0,2 CaO	0,8	6,0	zu hart	
13	0,5 K_2O 0,5 MgO	0,9	9,0	zu hart	

2. Farbige Gläser für Porzellanmassen.

Als farbige Gläser sollen in diesem Abschnitt verglaste Mischungen bezeichnet werden, die den Charakter durchsichtiger Emails haben, aber zum Unterschied von den gewöhnlichen leichtflüssigen einen so hohen Schmelzpunkt besitzen, dass man sie in demselben Feuer, in welchem der Scherben gar wird, auf das

Porzellan zur Verzierung aufbrennen kann. Es soll unter a) und b) geschildert werden, in welcher Weise wir passende Mischungen von den verlangten Eigenschaften fanden, und wie sich dabei die verschiedenen in der keramischen Praxis gebräuchlichen Alkalisalze verhalten haben.

a) Mischungen aus einer farbigen Fritte und einer weissen Rohglasur.

Man ging von einer vielfach bewährten Steinzeugglasur aus und setzte in diese an die Stelle des Kalks zur Färbung die äquivalente Menge Kobaltoxyd, so dass folgende Formel entstand:

$$\left.\begin{matrix} 0{,}3\ K_2O \\ 0{,}4\ CoO \\ 0{,}3\ BaO \end{matrix}\right\}\ 0{,}4\ Al_2O_3\ 3{,}5\ SiO_2$$

Wenn man zur Herstellung der Fritte das Kali aus verschiedenen Kaliumsalzen, nämlich aus Kalifeldspat und Pottasche entnimmt, und wenn man weiter Kali durch äquivalente Mengen Natron stufenweise ersetzt und auch Natron aus verschiedenen Verbindungen, nämlich aus Soda und Borax, deckt und zugleich die Kieselsäure um den Betrag der mit dem Borax eintretenden Borsäure vermindert, so ergeben sich eine Reihe stöchiometrisch gleicher Fritten, d. h. insofern stöchiometrisch gleich, als sie alle 0,3 Äquivalente Alkali und 3,5 Äquivalente Säure enthalten, und man kann aus dem verschiedenen Grade der Glasigkeit bei den hervorgehenden Fritten die Frage studieren, welche Alkalisalze den glasigen Charakter hochtonerdehaltiger Fritten in langem Feuer am günstigsten beeinflussen. Wir haben zwei derartige Studien durchgeführt, das zweite Mal mit einer bleihaltigen Glasur; über die Ergebnisse und die Schlüsse daraus soll zunächst berichtet werden.

Die Formeln der ersten Reihe mit ihren 11 Fritten sind aus Tabelle XIX (siehe S. 48) ersichtlich; danach berechnete man die Mischungen, gab sie in kleine Schmelztiegelchen und brannte sie bei Segerkegel 9 im Rundofen. Nach der Beschaffenheit der Fritten, die ebenfalls aus Tabelle XIX hervorgeht, legte man sie ohne Beeinflussung durch die Kenntnis der Zusammensetzung in eine nach dem Grade der Läuterung abnehmende Reihe, woraus Tabelle XX (siehe S. 49) entstanden ist.

Aus der Tabelle XX tritt die gute Wirkung des Borax klar und scharf hervor, während die Soda ungünstiger auf die Glasbildung gewirkt hat. Ferner scheint sich daraus, dass die Proben Nr. 9 und 5 mit Pottasche und Borax glasiger als die Proben Nr. 8 und 4 mit Feldspat und Borax sind, eine Überlegenheit der Pottasche über den Feldspat zu ergeben. Man erkennt aber aus der Tabelle XXI, dass der Feldspat unter den vorliegenden Verhältnissen dennoch ein besserer Glasbilder als die Pottasche ist, insofern als Nr. 12 mit Feldspat allein wesentlich besser als Nr. 13

Tabelle XIX.

Formel der Fritte	Nr.	K_2O aus	Na_2O aus	Beschaffenheit der Fritte
$0{,}3\,K_2O$, $0{,}4\,CoO$, $0{,}3\,BaO$ } $0{,}4\,Al_2O_3$ $3{,}5\,SiO_2$	1	Feldspat		steinig, glatter Bruch, dünne Schichten durchscheinend
$0{,}2\,K_2O$, $0{,}1\,Na_2O$, $0{,}4\,CoO$, $0{,}3\,BaO$ } $0{,}4\,Al_2O_3$ $3{,}5\,SiO_2$	2	Feldspat	Soda	steinig, neigt sich mehr dem erdigen Charakter zu. Bruch glatt, Durchschein nicht so gut wie bei Nr. 1, zerbröckelt leicht zu einem erdig. Pulver
	3	Pottasche	Soda	steinig, Bruch glatt, sehr dünne Schichten durchscheinend. Steht in der Läuterung hinter 1 zurück; der erdige Charakter ist nicht so stark wie bei Nr. 2
$0{,}2\,K_2O$, $0{,}1\,Na_2O$, $0{,}4\,CoO$, $0{,}3\,BaO$ } $0{,}4\,Al_2O_3$ { $3{,}3\,SiO_2$, $0{,}2\,B_2O_3$	4	Feldspat	Borax	wie Probe Nr. 1. Es ist kaum zu entscheiden, welche von beiden die bessere ist
	5	Pottasche	Borax	im allgemeinen steinig, Bruch uneben, in dünneren Schichten am Rande beinahe glasig, in der Mitte noch steinig und undurchsichtig
$0{,}1\,K_2O$, $0{,}2\,Na_2O$, $0{,}4\,CoO$, $0{,}3\,BaO$ } $0{,}4\,Al_2O_3$ $3{,}5\,SiO_2$	6	Feldspat	Soda	steinig, ähnlich Nr. 1 u. 4. steht aber hinter letzterem merklich zurück, während es, namentlich im Durchschein, besser ist als Nr. 3
	7	Pottasche	Soda	Charakter mehr erdig, nicht durchscheinend, steht hinter der Probe Nr. 2 zurück
$0{,}1\,K_2O$, $0{,}2\,Na_2O$, $0{,}4\,CoO$, $0{,}3\,BaO$ } $0{,}4\,Al_2O_3$ { $3{,}1\,SiO_2$, $0{,}4\,B_2O_3$	8	Feldspat	Borax	Nr. 5 sehr ähnlich, hat aber noch einen, wenn auch sehr geringen, erdigen Charakter, folgt also hinter Nr. 4
	9	Pottasche	Borax	teilweise glasig
$0{,}3\,Na_2O$, $0{,}4\,CoO$, $0{,}3\,BaO$ } $0{,}4\,Al_2O_3$ $3{,}5\,SiO_2$	10		Soda	steinig, steht im Durchschein noch hinter Nr. 7 zurück
$0{,}3\,Na_2O$, $0{,}4\,CoO$, $0{,}3\,BaO$ } $0{,}4\,Al_2O_3$ { $2{,}9\,SiO_2$, $0{,}6\,B_2O_3$	11		Borax	vollkommen glasig und klar

Tabelle XX.

Nr.	K_2O	Na_2O	Charakter der Fritte im allgemeinen
11		0,3 aus Borax	vollkommen geläutert und glasig
9	0,1 aus Pottasche	0,2 aus Borax	teilweise glasig
5	0,2 aus Pottasche	0,1 aus Borax	an den Rändern glasig, in der Mitte steinig
8	0,1 aus Feldspat	0,2 aus Borax	an den Rändern nicht glasig, sonst wie Nr. 5
4	0,2 aus Feldspat	0,1 aus Borax	steinig, in dünnen Schichten durchscheinend
1	0,3 aus Feldspat		steinig, in dünnen Schichten durchscheinend
6	0,1 aus Feldspat	0,2 aus Soda	steinig, schon zum Erdigen neigend, sehr dünne Splitterchen noch durchscheinend
3	0,2 aus Pottasche	0,1 aus Soda	steinig, schon zum Erdigen neigend. sehr dünne Splitterchen noch durchscheinend
2	0,2 aus Feldspat	0,1 aus Soda	der erdige Charakter steigert sich, sehr dünne Blättchen sind noch durchscheinend
7	0,1 aus Pottasche	0,2 aus Soda	mehr erdig als steinig, nicht mehr durchscheinend
10		0,3 aus Soda	mehr erdig als steinig, nicht mehr durchscheinend

mit Pottasche allein geläutert ist. Dies Verhalten hängt hauptsächlich damit zusammen, dass der Feldspat als ein fertiges Silikat bei der hohen Temperatur die Bildung und Läuterung eines Glases umsomehr befördert, als diese bereits an seine Schmelztemperatur heranreicht. Der Soda gegenüber hat der Feldspat günstiger als die Pottasche gewirkt, indem Nr. 6 (Tabelle XX) mit Feldspat und Soda besser ist als Nr. 7 mit Pottasche und Soda, während Nr. 3 und 2, welche Pottasche und Soda bezw. Feldspat und Soda aber in anderen Verhältnissen, als Nr. 6 und 7 enthalten, wieder das Gegenteil zeigen; bei den geringen Unterschieden aber im Charakter der Fritten ist auf diese Beobachtungen kaum irgend welcher Wert zu legen.

Die 18 Proben der zweiten Reihe mit der bleihaltigen Glasur, bei denen als Kaliumsalz auch noch Salpeter angewendet wurde, weil diese Verbindung beim Einschmelzen bleihaltiger Sätze zur Vermeidung einer Reduktion des Metalls eingeführt zu werden pflegt, und die damit ebenfalls bei Segerkegel 9 erzielten Ergebnisse sind in den Tabellen XXI und XXII eingetragen.

Tabelle XXI.

Formel der Fritte	Nr.	K_2O aus	Na_2O aus	Beschaffenheit der Fritte
$\left.\begin{matrix}0,3\,K_2O\\0,2\,PbO\\0,5\,BaO\end{matrix}\right\}0,6\,Al_2O_3\,6\,SiO_2$	12	Feldspat		im allgemeinen glasig, Bruch uneben bis splittrig, glänzend, fast homogen; dünnere Schichten durchscheinend
	13	Pottasche		im allgemeinen glasig, aber nicht mehr so stark wie bei Nr. 16. Der Übergang zum steinig. Charakter ist merklich
	14	Salpeter		blasig, glanzlos, mit unebenem und erdigem Bruch
$\left.\begin{matrix}0,2\,K_2O\\0,1\,Na_2O\\0,2\,PbO\\0,5\,BaO\end{matrix}\right\}0,6\,Al_2O_3\,6\,SiO_2$	15	Feldspat	Soda	glasig u. blasenfrei, Bruch uneben bis splittrig, hochglänzend, sehr homogen, auch in dickeren Schichten durchscheinend
	16	Pottasche	Soda	Bruch uneben bis splittrig, Bruchfläche glänzend, dünne Schichten durchscheinend, im allgemeinen noch glasig
	17	Salpeter	Soda	blasig, Bruch uneben, stellenweise glänzend
$\left.\begin{matrix}0,2\,K_2O\\0,1\,Na_2O\\0,2\,PbO\\0,5\,BaO\end{matrix}\right\}0,6\,Al_2O_3\left\{\begin{matrix}5,8\,SiO_2\\0,2\,B_2O_3\end{matrix}\right.$	18	Feldspat	Borax	von Nr. 15 kaum verschieden
	19	Pottasche	Borax	glasig, wie Nr. 15 u. 18; hinsichtlich Schärfe des Bruchs und Durchschein etwas besser als Nr. 18
	20	Salpeter	Borax	beginnt glasig zu werden, Bruch glatt und glänzend, dünnere Schichten durchscheinend, Blasen sind noch vorhanden
$\left.\begin{matrix}0,1\,K_2O\\0,2\,Na_2O\\0,2\,PbO\\0,5\,BaO\end{matrix}\right\}0,6\,Al_2O_3\,6\,SiO_2$	21	Feldspat	Soda	etwas blasig, Bruch uneben bis splittrig, stark glänzend, fast homogen
	22	Pottasche	Soda	im allgemeinen glasig; Bruch uneben bis splittrig, glänzender als Nr. 16
	23	Salpeter	Soda	blasenfrei, Bruch glatt und mattglänzend, ganz dünne Blättchen sind durchscheinend
$\left.\begin{matrix}0,1\,K_2O\\0,2\,Na_2O\\0,2\,PbO\\0,5\,BaO\end{matrix}\right\}0,6\,Al_2O_3\left\{\begin{matrix}5,6\,SiO_2\\0,4\,B_2O_3\end{matrix}\right.$	24	Feldspat	Borax	vollkommen glasig, scharfer, spitziger, feinsplittriger Bruch, hoher Glanz und Durchschein
	25	Pottasche	Borax	wie Nr. 24; an Schärfe des Bruchs, Glanz und durchscheinender Kraft kaum merklich zurückstehend
	26	Salpeter	Borax	wie Nr. 25; steht hinter diesem ebenfalls kaum merklich zurück
$\left.\begin{matrix}0,3\,Na_2O\\0,2\,PbO\\0,5\,BaO\end{matrix}\right\}0,6\,Al_2O_3\,6\,SiO_2$	27		Soda	stark mit grossen Blasen durchsetzt, aber im Innern glasig u. glänzend u. ziemlich homogen
$\left.\begin{matrix}0,3\,Na_2O\\0,2\,PbO\\0,5\,BaO\end{matrix}\right\}0,6\,Al_2O_3\left\{\begin{matrix}5,4\,SiO_2\\0,6\,B_2O_3\end{matrix}\right.$	28		Borax	klares, vollkommen geläutertes Glas
$\left.\begin{matrix}0,15\,K_2O\\0,15\,Na_2O\\0,20\,PbO\\0,50\,BaO\end{matrix}\right\}0,6\,Al_2O_3\,6\,SiO_2$	29	Kaliumnatriumkarbonat		etwas blasig, Bruch muschlig und schwach glänzend, am Rande durchscheinend

Tabelle XXII.

Nr.	K_2O	Na_2O	Charakter der Fritte im allgemeinen
28		0,3 aus Borax	vollkommen glasig und klar geläutert
24	0,1 aus Feldspat	0,2 aus Borax	vollkommen glasig. Der Läuterungsgrad geht in Nr. 24—26 sehr langsam Nr. 19—15 etwas schneller herunter.
25	0,1 aus Pottasche	0,2 aus Borax	
26	0,1 aus Salpeter	0,2 aus Borax	
19	0,2 aus Pottasche	0,1 aus Borax	
18	0,2 aus Feldspat	0,1 aus Borax	
15	0,2 aus Feldspat	0,1 aus Soda	
12	0,3 aus Feldspat		im allgemeinen glasig, die Läuterung ist merklich geringer
21	0,1 aus Feldspat	0,2 aus Soda	allmählige Abnahme des glasigen Charakters. Die Homogenität und der Glanz werden geringer, mehr oder weniger starke Blasenbildung
20	0,2 aus Salpeter	0,1 aus Borax	
27		0,3 aus Soda	
22	0,1 aus Pottasche	0,2 aus Soda	
16	0,2 aus Pottasche	0,1 aus Soda	
13	0,3 aus Pottasche		deutlicher Übergang zum steinigen Charakter
29	0,15 aus Pottasche	0,15 aus Soda	steinig
23	0,1 aus Salpeter	0,2 aus Soda	
17	0,2 aus Salpeter	0,1 aus Soda	Übergang zum erdigen Charakter
14	0,3 aus Salpeter		erdig

Die Ergebnisse sind fast dieselben wie in Tabelle XX. Die Wirkung des Borax tritt aber hier noch schärfer hervor, indem sich in Nr. 24 bis 26 zeigt, dass es ziemlich gleichgiltig ist, aus welcher Quelle 0,1 Äquivalent Kali stammt, wenn nur 0,2 Äquivalente Natron aus Borax vorhanden sind. Ergänzend an das oben über die Feldspatwirkung Gesagte reiht sich hier an, dass dies Material allein auch besser wirkt als eine Mischung der beiden Alkalikarbonate: das ergibt sich daraus, dass Nr. 12 mit Feldspat allein noch glasig ist, während Nr. 29 mit Kaliumnatriumkarbonat nur einen steinigen Charakter besitzt. Der Salpeter begünstigt die Glasbildung am wenigsten, was man daraus erkennt, dass die mit ihm allein hergestellte Fritte Nr. 14 noch erdige Beschaffenheit aufweist.

Aus beiden Versuchsreihen ergeben sich die folgenden Schlüsse für die Glasbildung in tonerdehaltigen Mischungen bei Segerkegel 9 in einem mässig grossen Ofen:

1. Salpeter bewirkt schwere Glasbildung und Läuterung, ein Zusatz von Soda befördert die Glasbildung.

2. Soda als einziges Alkalimetall wirkt auch schwer glasbildend, jedoch leichter als Salpeter. Die entstehenden Gläser sind sehr homogen.

3. Pottasche allein ist ebenfalls kein günstiger Glasbilder; ein Zusatz von Soda wirkt günstig und steigert Glanz, glasigen Bruch und Homogenität. Am günstigsten ist ein Zusatz von Borax.

4. Feldspat ist schon allein ein guter Glasbilder und ist aus diesem Grunde der Pottasche überlegen. Mit Soda zusammen ist die Wirkung nicht immer günstiger als ohne Zusatz; in vorzüglicher Weise wirkt dagegen eine Beimengung von Borax. In Mischung mit letzterem wirken Pottasche und Feldspat fast gleich.

5. Borax hat sich als der beste Glasbilder erwiesen.

Verarbeitung der Fritten Nr. 1 bis 11 (Tabelle XIX, S. 48) zu farbigen Gläsern.

Man setzte folgende Proben an:

Reihe A. Nr. 1—11: 50 Teile Rohglasur I, 50 Teile Fritte 1—11.
Reihe B. Nr. 1—11: 50 Teile Rohglasur 1, 25 Teile Fritte 1—11.

Die Rohglasur I hat die Formel:

$$\left.\begin{array}{l} 0{,}3\,K_2O \\ 0{,}4\,CaO \\ 0{,}3\,BaO \end{array}\right\} 0{,}4\,Al_2O_3\;3{,}5\,SiO_2$$

welcher folgender Versatz entspricht:

166,8	Teile	Feldspat
40,0	„	Marmor
59,1	„	Witherit
25,8	„	roher Zettlitzer Kaolin
90,0	„	Sand

Die 22 Mischungen wurden auf der Palette feinst zusammengerieben, je ein dicker Tropfen auf ein Plättchen aus der Figurenmasse (S. 44) gegeben und stehend gebrannt. Auch hierbei sind, wie die Übersicht in der folgenden Tabelle XXIII (siehe S. 53) zeigt, die sodahaltigen Gläser mit einer Ausnahme Nr. 7 in der ersten Reihe ungünstig. Zu ihnen gehört auch gerade die beste Fritte Nr. 11, was indessen weniger überrascht, da Borsäuregläser zu Ausscheidungen neigen. Es ist eine nicht seltene Erfahrung, dass gerade die härteren Fritten in Mischung mit Rohglasuren die besseren Gläser geben; sie bestätigt sich hier wieder, wenn man z. B. Mischung 2 und 7 in Reihe B fast an der Spitze stehen sieht, während die entsprechenden Fritten nach Tabelle XX, Seite 49 beinahe die letzte Stelle einnehmen. Bemerkenswert ist es, dass in der Anwendung die Gläser mit löslichen Kalisalzen jene mit

Tabelle XXIII.

Reihe A				Reihe B			
Nr.	K_2O	Na_2O	Beschaffenheit	Nr.	K_2O	Na_2O	Beschaffenheit
10		0,3 a. Soda	kein voller Glanz auf der Oberfläche				
6	0,1 a. Feldspat	0,2 a. Soda					
11		0,3 a. Borax					
3	0,2 a. Pottasche	0,1 a. Soda					
2	0,2 a. Feldspat	0,1 a. Soda					
8	0,1 a. Feldspat	0,2 a. Borax	glänzende klare Tropfen; der Glanz steigert sich in der Reihenfolge d. Fritten				
9	0,1 a. Pottasche	0,2 a. Borax					
4	0,2 a. Feldspat	0,1 a. Borax					
1	0,3 a. Feldspat			2	0,2 a. Feldspat	0,1 a. Soda	Glänzende klare Tropfen
7	0,1 a. Pottasche	0,2 a. Soda		7	0,1 a. Pottasche	0,2 a. Soda	
5	0,2 a. Pottasche	0,1 a. Borax		4	0,2 a. Feldspat	0,1 a. Borax	

Feldspat übertreffen: so hat z. B. Mischung 7 mit Pottasche in den beiden Reihen A und B ein klareres Glas als Mischung 1 mit Feldspat allein in Reihe A und Mischung 2 mit Feldspat und Soda in Reihe B gegeben. Ferner hat in Reihe B Mischung 2 ein besseres Glas erzeugt als in Reihe A. An eine Überschmelzung in Reihe A und daraus etwa entspringende Trübung kann hier nicht gedacht werden, denn dann müsste die boraxhaltige Probe Nr. 4 in derselben Reihe erst recht getrübt sein; die stöchiometrische Zusammensetzung ist in beiden Proben Nr. 2 fast gleich und unterscheidet sich nur durch eine übrigens höchst geringe Verschiedenheit in den Alkalien. Da also chemische Differenzen nicht vorliegen, so kann nur noch der Unterschied in der physikalischen Zusammensetzung, d. h. der Umstand, dass die Reihe A das Doppelte an Fritte enthält, die Ursache des verschiedenen Verhaltens der beiden Proben Nr. 2 sein. Dasselbe würde für Nr. 4 und 5 in beiden Reihen zutreffen. Wir haben hier wieder Beispiele, die darauf hinweisen, wie wichtig die physikalische Beschaffenheit der reagierenden Stoffe bei Silikaten sind; es sei in diesem Sinne nur an den bekannten Versuch in Sèvres erinnert, bei welchem eine der Porzellanmasse stöchiometrisch gleiche künstliche Mischung im Feuer des Porzellanofens zu einem weissen Email zusammenschmolz.

Um festzustellen, welche Mischung für die Praxis am günstigsten ist, haben wir noch die folgenden Proben angesetzt. Es kam vor allem darauf an, zu versuchen, ob nicht eine Verminderung an Fritte möglich sei; dies bedeutet für die Industrie eine erhebliche

Ersparnis. Dazu wurde, ausgehend von Probe B 4 in dieser die Fritte vermindert und zum Vergleich die borsäurefreie Probe A 1 mit ebenfalls verminderter Fritte herangezogen. Es zeigte sich, dass eine Mischung aus

50 Teilen Rohglasur I
10 „ Fritte 4 (mit Feldspat und Borax)

immer noch klar und glänzend war, und dass denselben Grad der Glasigkeit eine Mischung aus

50 Teilen Rohglasur I
35 „ Fritte 1 (mit Feldspat allein)

besass. In abgerundeten Prozenten stehen sich die Zahlen

83 Teile Rohglasur	59 Teile Rohglasur
17 „ Fritte 4	41 „ Fritte 1

gegenüber und man sieht, dass man mit der boraxhaltigen Fritte mehr als die Hälfte an Fritte gegenüber der boraxfreien erspart. Es ist recht lehrreich, wie an dieser Stelle die Wirkung der doch geringen Borsäuremenge glänzend in die Erscheinung tritt, während in den beiden betreffenden Fritten selbst kaum ein Unterschied zu bemerken war (vergl. Tabelle XX, S. 49). In abgerundeten Zahlen ergibt sich damit ein

blaues Email für Porzellan.

80 Teile Rohglasur I
20 „ Fritte 4,

welche letztere aus folgender Mischung hergestellt wird:

111,2	Teile	Feldspat
20,2	„	calc. Borax
29,8	„	reines Kobaltoxyd
59,1	„	Witherit
51,6	„	roher Zettlitzer Kaolin
102,0	„	Sand.

In ähnlicher Weise gelangte man zu einem grünen Email, indem in der Rohglasur I ein Teil der Tonerde durch Chromoxyd ersetzt wurde. Nach den Erfahrungen der vorhergegangenen Proben beschränkte man sich auf die Anwendung von Feldspat und Borax.

Tabelle XXIV.

Nr.	Formel der Fritte	K_2O aus	Na_2O aus
1	$\left.\begin{matrix}0{,}3\,K_2O\\0{,}4\,CaO\\0{,}3\,BaO\end{matrix}\right\}$ $0{,}3\,Al_2O_3\;0{,}1\,Cr_2O_3\;3{,}5\,SiO_2$	Feldspat	
4	$\left.\begin{matrix}0{,}2\,K_2O\\0{,}1\,Na_2O\\0{,}4\,CaO\\0{,}3\,BaO\end{matrix}\right\}$ $0{,}3\,Al_2O_3\;0{,}1\,Cr_2O_3$ $\left\{\begin{matrix}3{,}3\,SiO_2\\0{,}2\,B_2O_3\end{matrix}\right.$	Feldspat	Borax
8	$\left.\begin{matrix}0{,}1\,K_2O\\0{,}2\,Na_2O\\0{,}4\,CaO\\0{,}3\,BaO\end{matrix}\right\}$ $0{,}3\,Al_2O_3\;0{,}1\,Cr_2O_3$ $\left\{\begin{matrix}3{,}1\,SiO_2\\0{,}4\,B_2O_3\end{matrix}\right.$	Feldspat	Borax
11	$\left.\begin{matrix}0{,}3\,Na_2O\\0{,}4\,CaO\\0{,}3\,BaO\end{matrix}\right\}$ $0{,}3\,Al_2O_3\;0{,}1\,Cr_2O_3\;3{,}5\,SiO_2$		Borax

Die Fritte Nr. 1 ist steinig, alle anderen glasig. Die Mischungen mit der Rohglasur I (S. 52) ergeben als die beste

50 Teile Rohglasur
25 „ Fritte 8.

Für das Chromoxyd braucht man also eine höhere Menge Borax, was sich daraus ergibt, dass Fritte 8 die doppelte Menge Borsäure gegenüber der für das blaue Email ausreichenden Fritte 4 enthält. Mit Fritte 11 war die Mischung in dieser Reihe vollkommen klar, lief aber ab. Gibt man obige Mischung in runden Prozenten an, so lautet der Versatz für ein

grünes Email für Porzellan

65 Teile Rohglasur I
35 „ Fritte 8.

Die letztere wird aus folgender Mischung hergestellt:

55,6 Teile Feldspat,
40,4 „ calc. Borax,
40,0 „ Marmor,
59,1 „ Witherit,
51,6 „ roher Zettlitzer Kaolin,
126,0 „ Sand,
15,3 „ Chromoxyd.

Der eingeschlagene Weg ist allgemein gangbar. Man kann sehr leicht je nach den Umständen zwischen Grundglasur und Fritte variieren, kann Fritten verschiedener Farbe herstellen, auch mehrere farbige Fritten gleichzeitig einführen und so mit einer beschränkten Zahl von Grundfritten zu einer verhältnismässig reichen Farbenskala kommen.

b) Mischungen aus einer farblosen Fritte mit einer farblosen Rohglasur und einem färbenden Oxyd.

Man mischte Rohglasur II mit der Formel

$$\left.\begin{array}{l}0{,}3\,K_2O\\0{,}2\,CaO\\0{,}5\,BaO\end{array}\right\}\ 0{,}6\,Al_2O_3\ 6\,SiO_2$$

und dem Versatz

166,8	Teile	Feldspat
20,0	„	Marmor
98,5	„	Witherit
77,4	„	roher Zettlitzer Kaolin
216,0	„	Sand
578,7		

mit Fritte IV von der Formel

$$\left.\begin{array}{l}0{,}1\,K_2O\\0{,}4\,Na_2O\\0{,}1\,MgO\\0{,}4\,PbO\end{array}\right\}\ 1{,}75\,SiO_2\ 0{,}25\,B_2O_3$$

und dem Versatz

20,2	Teile	Salpeter
42,4	„	calc. Soda
8,4	„	Magnesit
91,3	„	Mennige,
105,0	„	Sand
31,0	„	kristall. Borsäure

unter Hinzufügung von 1 % Kobaltoxyd in verschiedenen Verhältnissen und zwar:

90—60	Teile	Grundglasur II
10—40	„	Fritte IV

in Stufen von je fünf Teilen und brannte sie bei Segerkegel 9 im Rundofen. Die Proben waren alle blasig und matt, und auf der Bruchfläche liessen sich deutlich zwei Schichten erkennen, von denen die untere fast glasig war, die obere aber alle Anzeichen von Überschmelzung aufwies. Augenscheinlich war die Fritte bereits überhitzt, ehe sie mit der zähen Grundglasur in Reaktion treten konnte. Es war also notwendig, die letztere basischer zu machen. Dies geschah sowohl durch Einführung von Kalk als auch von Tonerde. Wenn man die Summe der nach der Formel verlangten Gewichtsteile der Rohstoffe, im vorliegenden Falle für Glasur II = 578,7 Gew.-Teile als ein „Äquivalent" der Grundglasur bezeichnen darf, so gewinnen die neuen Glasuren folgenden sehr kurzen Ausdruck:

IIa)	1 Äquivalent	Grundglasur	II + 1,0	Äquivalent	Marmor
IIb)	1 „	„	II + 0,3	„	Tonerde
IIc)	1 „	„	II + 0,6	„	„

Sie wurden alle drei mit der Fritte IV in derselben Weise gemischt wie vorher Glasur II unter Zugabe von 1 % Kobaltoxyd. Die Ergebnisse waren wesentlich besser. Mit IIa wird der schaumige Charakter vermindert, bei 15 % Fritte fliessen die Proben schon etwas und sind beinahe frei von Erblindungen der Oberfläche; darüber hinaus treten diese wieder stärker hervor. Alle Proben sind vollkommen glasig. Mit IIb und IIc ist der blasige Charakter völlig verschwunden, ebenso das Ablaufen und die Erblindungen in den unteren Proben, während sie mit hochsteigender Fritte wieder auftreten. Dagegen ist das glasige Aussehen vermindert, die Bruchfläche wird steinig; die Proben mit IIc sind zum Teil noch ganz hart.

Die Wirkung beider Zusätze ist also entgegengesetzt. Kalk macht die Mischung glasiger, vermehrt aber das Abfliessen und beseitigt die Trübungen nicht vollständig. Die Tonerde vermindert den glasigen Charakter, wirkt aber dem Ablaufen und den Trübungen entgegen. Man musste also beide zusammenwirken lassen. Dies liesse sich in folgender Weise ausführen. Nachdem sich gezeigt hat, dass 15 % Fritte IV ausreichend sind, um ein glänzendes und durchsichtiges Email zu erzeugen, soll die allgemeine Zusammensetzung desselben sein:

15 Teile Fritte IV
85 „ Grundglasur.

Von diesen 85 Teilen Grundglasur wird nun gegeben:

Die Hälfte aus Glasur IIa	a)	Die Hälfte aus Glasur IIb
	b)	„ „ „ „ IIc
Ein Drittel aus Glasur IIa	c)	zwei Drittel aus Glasur IIb
	d)	„ „ „ „ IIc
Zwei Drittel aus Glasur IIa	e)	ein Drittel aus Glasur IIb
	f)	„ „ „ „ IIc

Alle sechs Mischungen haben das erwartete Ergebnis, sie sind völlig glasig, blank und klar. Am besten ist Probe f. Rechnet man bei dieser die beiden Rohglasuren ineinander, so bekommt man als die Zusammensetzung dieses blauen Glases:

15	Teile	Fritte IV	
24,47	„	Feldspat	= 85 Teile Grundglasur.
10,80	„	Marmor	
12,09	„	Witherit	
15,58	„	roh. Zettl. Kaolin	
26,06	„	Sand	
1,00	„	Kobaltoxyd	

Berechnet man aus dieser letzten Grundglasur eine Formel, so ergibt sich folgende:

$$\left.\begin{array}{l} 0{,}17\,K_2O \\ 0{,}56\,CaO \\ 0{,}27\,BaO \end{array}\right\} 0{,}44\,Al_2O_3\ 3{,}54\,SiO_2$$

Die Ergebnisse des III. Teiles sind folgende:

1. Die Tone des Westerwaldes sind zur Herstellung von Porzellan- und Steingutmassen brauchbar.
2. Beim Einfritten stark tonerdehaltiger Versätze bei Segerkegel 9 in einem mässig grossen Ofen wirkt Borax am günstigsten auf den Grad der glasigen Läuterung. Nach ihm wirkt Feldspat auf den glasigen Charakter und die Läuterung sehr günstig, dieser Einfluss wird durch eine geringe Beigabe von Borax in ausgezeichneter Weise befördert.

IV. Teil.

A. Die Grenzwerte der Tonerde- und Kieselsäuremengen in hochgebrannten Steinzeugglasuren.

Wenn man für Steinzeugglasuren die allgemeine Formel aufstellt:

$$RO\,.\,x\,Al_2O_3\,.\,y\,SiO_2$$

worin RO in wechselnder Weise von Kali, Kalk, Magnesia und Baryumoxyd gebildet werden kann, während Bleioxyd, das ja hier und dort auch Verwendung findet, noch nicht einmal berücksichtigt worden ist, und wenn ferner x Zahlen unter 1 und y gewisse Vielfache von x darstellen, so ist die Zahl der denkbaren Steinzeugglasuren ausserordentlich gross. Da nun aber keineswegs jede Glasur, die möglich ist, auch im Ofen in der gewünschten Weise ausfällt, so ergeben sich Unsicherheiten und Schwierigkeiten für die Herstellung von Steinzeugglasuren, namentlich dann, wenn die Temperatur im Ofen nicht gleichmässig ist, sondern, wie es bei den grossen Öfen der Industrie der Fall ist, im oberen und unteren Teil beträchtliche Unterschiede zeigt. Die Menge der Tonerde, die hier, wie überhaupt in diesem Teil, in Äquivalenten ausgedrückt zu verstehen ist, und das Verhältnis der Kieselsäure dazu, ebenfalls in Äquivalenten ausgedrückt, sind diejenigen beiden Faktoren, die die Eigenschaften einer Steinzeugglasur in der Hauptsache beeinflussen. Wenn es gelang, durch die Feststellung der oberen und unteren Tonerde- und Kieselsäuregrenzen das Gebiet der gegen verschiedenes Feuer unempfindlichen Steinzeugglasuren scharf zu umschreiben, so war damit für die Praxis der Steinzeugindustrie insofern ein Gewinn erzielt, als die Sicherheit des Arbeitens auf

dem verkleinerten Gebiet vergrössert war. Diese Erwägungen haben mich zu den Versuchen veranlasst, die ich in diesem Abschnitt schildern will, und die zeigen sollen, zwischen welchen Grenzen des Tonerde- und Kieselsäuregehaltes diejenigen Glasuren eingeschlossen sind, die bei den wechselnden äusseren Bedingungen eines grossen Ofens gleichmässig gut geraten.

Die Ausführung der Versuche erfolgte in der Art, dass die auf der Palette feinst zusammengeriebenen Mischungen auf verglühte Plättchen von 3 cm im Quadrat aus geschlämmtem Lämmersbacher Ton aufgegossen wurden. Die Plättchen wurden in doppelter Herstellung aufrecht stehend im Rundofen, sowohl oben bei Segerkegel 9, als unten bei Segerkegel 7, gebrannt. Im folgenden will ich zunächst über diejenigen Versuche berichten, bei denen 0,1 bis 0,27 Äquivalente Tonerde angewendet wurden. Da die verschiedenen Proben in ihren Ergebnissen gleich lauten, so genügt es, von ihnen eine Anzahl typische auszuwählen, um einige Bemerkungen daran zu knüpfen.

1. Glasuren mit 0,1 bis 0,27 Äquivalenten Tonerde.

Die Glasuren mit 0,1 bis 0,27 Äquivalenten Tonerde sind in der folgenden Tabelle XXV zusammengestellt.

Tabelle XXV.

Nr.	Basen	Al_2O_3	a) Einfach Silikat.		b) 1,5—1,6fach Silikat.		c) 1,7—1,8fach Silikat.		d) Zweifach Silikat.	
			S.K. 9	S.K. 7	S.K. 9	S.K. 7	S.K. 9	S.K. 7	S.K. 9	S.K. 7
1	0,10 K_2O 0,45 CaO 0,20 MgO 0,25 BaO	0,10	ganz klar, aber haarrissig, stark ablaufend		klar, aber mit einzelnen Trübungen, weniger haarrissig, weniger ablaufend		völlig entglast		ungeschmolzen	
2	0,10 K_2O 0,45 CaO 0,20 MgO 0,25 BaO	0,15			ziemlich blank	getrübt				
3	0,17 K_2O 0,45 CaO 0,25 MgO 0,13 BaO	0,17							ziemlich klar, aber noch durch einzelne Ausscheidungen getrübt	
4	0,20 K_2O 0,45 CaO 0,20 MgO 0,15 BaO	0,20	ziemlich klar, m. leicht. Trübungen, wenig Haarrisse		völlig klar u. frei von Trübung, haarrissig	getrübt				
5	0,22 K_2O 0,40 CaO 0,20 MgO 0,18 BaO	0,22					opak.			
6	0,27 K_2O 0,40 CaO 0,20 MgO 0,13 BaO	0,27			völlig klar, frei v. Trübungen und Haarrissen	getrübt				

Zu dieser sei vorweg bemerkt, dass das Basenverhältnis nicht in allen Proben gleich ist, sondern dass das Alkali je nach dem Anwachsen der Tonerde gesteigert wurde, was mit Rücksicht darauf geschehen ist, dass die Versuche in der Hauptsache einem praktischen Zweck dienten. Bei den folgenden Erörterungen habe ich dies nicht aus den Augen verloren, so dass die Schlüsse trotzdem ihre Gültigkeit behalten dürften. Man sieht zunächst in Nr. 1a, dass man bei 0,1 Äquivalent Tonerde mit soviel Kieselsäure, dass ein einfaches Silikat entsteht, und mit der angegebenen Basenzusammensetzung eine völlig klare Glasur erzielt, die aber zu dünnflüssig und ausserdem stark haarrissig ist. Durch eine Steigerung der Kieselsäure bis zu einem 1,5fach Silikat erreicht man in Nr. 1b wohl eine Verbesserung der beiden letzten Fehler, aber gleichzeitig treten Trübungen auf, die wohl als eine beginnende Entglasung infolge zu grosser Mengen an Kieselsäure zu deuten sind. Man befindet sich hier augenscheinlich an der Grenze der Aufnahmefähigkeit für Kieselsäure, denn nur ein wenig darüber hinaus tritt die Entglasung durch die ganze Glasur ein, und noch einen Schritt weiter bis zum zweifachen Silikat führt zu ungeschmolzenen Massen, wie die Proben 1c und 1d zeigen. Vergleicht man 1c mit 2b, das einen ein wenig höheren Tonerdegehalt besitzt, so sieht man sogleich die entglasungswidrige Wirkung der Tonerde: bei höherer Temperatur sind die Trübungen fast völlig verschwunden. Dabei beträgt die Steigerung der Tonerde in Äquivalenten nur 0,05, in Prozenten nur 2,08, wie man aus der folgenden Tabelle XXVI entnehmen kann, aus der hervorgeht, dass Nr. 1c an Tonerde 4,47 %, 2b aber 6,55 % enthält.

Tabelle XXVI.

Nr.	Tonerde in Prozenten	Kieselsäure in Prozenten	Zu- oder Abnahme der Tonerde	Zu- oder Abnahme der Kieselsäure
1c	4,47	60,47		
			2,08	1,32
2b	6,55	59,15		
			1,63	2,68
1b	4,92	56,47		
			0,78	6,89
1d	4,14	63,36		
			2,34	3,93
3d	6,48	67,29		

Die Wirkung ist also sehr stark, wenn auch ein Teil davon auf Rechnung der um 1,32 % verminderten Kieselsäure zu setzen sein dürfte. An und für sich ist diese Verminderung zwar so gering, dass sie unter gewöhnlichen Verhältnissen sicher ohne erkennbare Wirkung bleibt. In diesem Falle aber, wo man mit der Kieselsäure an der Grenze der Aufnahmefähigkeit steht, kann schon eine geringe Verminderung von ihr einen merklichen Einfluss haben. Viel entschiedener, weil die unterstützende Wirkung der ver-

minderten Kieselsäure ausgeschaltet ist, offenbart sich die günstige Wirkung der Tonerde beim Vergleich von Nr. 2b mit 1b in Tabelle XXVI. Die Tonerde in der ersten Probe ist um 1,63 % gesteigert, gleichzeitig aber auch die Kieselsäure um 2,68 %, und dennoch sind die Trübungen in dieser Glasur geringer als in letzterer. Dasselbe ergibt sich beim Vergleich von 1d mit 3d (Tabelle XXV, S. 59); die Vermehrung der Tonerde beträgt 2,34 % Tabelle XXVI, S. 60), und die Folge ist, dass das ungeschmolzene Silikat schmilzt und nur wenig entglast, trotzdem auch hier die Kieselsäure um 3,93 % wächst. Die günstige Wirkung der Tonerde tritt in diesen Proben klar und scharf hervor, namentlich in bezug auf die Kieselsäure, deren ungünstigen Einfluss in höheren Gaben sie leicht überwindet. Die Verhältnisse, wie sie in den beschriebenen Glasuren liegen, führen mit Notwendigkeit darauf, eine basische Wirkung der Tonerde anzunehmen. Danach ist zu schliessen, dass die bekannte Erscheinung, dass ein selbst sehr geringer Zusatz von Tonerde eine Glasur klärt, oder eine Erhöhung der Kieselsäure gestattet, etwa zu dem Zwecke, eine haarrissige Glasur der Ausdehnung des Scherbens anzupassen, in vielen Fällen darauf zurückgeführt werden kann, dass sich Tonerdesilikate bilden.

An dieser Stelle kann man einwenden, dass die Probe 3d gegenüber 1d durch die Steigerung des Kaliumoxyds von 0,1 auf 0,17 Äquivalente, also fast um das Doppelte begünstigt ist, dass das bessere Ergebnis mithin nicht bloss auf die Tonerde zu setzen ist, sondern auch auf die günstigere Mischung der Flussbasen, nachdem die Erfahrungen in der Glastechnik lehren, dass eine gewisse und zwar nicht unbeträchtliche Menge an Alkalien notwendig ist, um ein Glas vor Entglasung zu schützen. Eine Wirkung des Kali in dem gedachten Sinne ist zwar nicht ohne weiteres abzuweisen, ob sie aber gerade hier neben der Tonerdewirkung eine irgendwie erhebliche Rolle spielt, erscheint mir zweifelhaft, nachdem ich bei Segerkegel 7 Steinzeugglasuren mit nur 0,1 Äquivalent Kali, ja selbst ohne jedes Alkali erhalten habe, die recht gut brauchbar waren, sich u. a. auch gut färben liessen, wenn nur die Tonerdemenge hoch genug war und Brenndauer und Abkühlungszeit kurz. Die Formeln dieser Glasuren sind folgende:

$$\left.\begin{matrix} 0{,}7\,CaO \\ 0{,}3\,PbO \end{matrix}\right\}\ 0{,}4\,Al_2O_3\ 3{,}0\,SiO_2$$

$$CaO\,.\,0{,}4\,Al_2O_3\ 3{,}0\,SiO_2$$

$$\left.\begin{matrix} 0{,}1\,K_2O \\ 0{,}9\,CaO \end{matrix}\right\}\ 0{,}6\,Al_2O_3\ 4{,}0\,SiO_2$$

$$\left.\begin{matrix} 0{,}1\,K_2O \\ 0{,}3\,MgO \\ 0{,}3\,CaO \\ 0{,}3\,BaO \end{matrix}\right\}\ 0{,}6\,Al_2O_3\ 4{,}0\,SiO_2$$

Man sieht, dass unter gewissen Verhältnissen die Alkalien in den Glasuren nicht dieselbe notwendige Stellung einnehmen, wie in den Gläsern, indem die Tonerde ihre Rolle übernehmen kann, woraus sich dann weiter schliessen lässt, dass Gläser und Glasuren zwar den physikalischen Charakter miteinander gemeinsam haben, in ihrer chemischen Konstitution aber doch vermöge der besonderen Stellung der Tonerde voneinander abweichen müssen. Übrigens kann man auch in physikalischer Hinsicht einen wesentlichen Unterschied darin finden, dass die tonerdefreien Gläser spröde sind, die tonerdehaltigen Glasuren aber zähe und gerade deshalb ohne Tadel am Scherben haften. Besonders lehrreich ist die zweite der auf S. 61 verzeichneten Glasuren, da sie wider alle Erwartung, mit nur einer Base, nämlich Kalk, zu einem guten Ergebnis geführt hat, während es sonst aus der Praxis bekannt ist, dass zur Erzielung eines Glases mindestens zwei Basen notwendig sind. Unzweifelhaft hat auch in diesem Falle die Tonerde die Rolle einer zweiten Base übernommen.

Verfolgen wir die Wirkung der Tonerde weiter in der Reihe b der Tabelle XXV. Wir bekommen mit steigender Tonerde bei Segerkegel 9 erst eine schwach entglaste, dann eine völlig klare, aber haarrissige, endlich eine völlig klare und rissefreie Glasur. Die entsprechenden Prozente an Tonerde und Kieselsäure gehen aus der folgenden Tabelle hervor:

Tabelle XXVII.

Nr.	Tonerde in Prozenten	Kieselsäure in Prozenten	Zunahme der Tonerde	Zunahme der Kieselsäure
2b	6,55	59,15		
			2,00	1,22
4b	8,55	60,37		
			1,91	7,99
6b	10,46	68,36		

und man erkennt wieder deutlich die Wirkung der Tonerde: von 2b bis 4b steigert sie sich um 2 %: die Trübung verschwindet: von 4b bis 6b steigt die Kieselsäure um 7,99 % dank der erhöhten Tonerde; die Haarrisse verschwinden. Wir sehen an diesen drei Glasuren in augenfälliger Weise die Wirkung der Tonerde hinsichtlich der Anpassung einer Glasur an einen gegebenen Scherben. Dass die drei Glasuren bei Segerkegel 9 klar oder fast klar, bei Segerkegel 7 aber trübe sind, findet darin seine Erklärung, dass bei allen dreien die Äquivalente der Kieselsäure jene der Tonerde um mehr als das Zehnfache übertreffen. Wir haben nämlich in

2b: 0,15 Äq. Tonerde : 2,3 Äq. Kieselsäure also das Verhältnis 1 : 16
4b: 0,20 „ „ : 2,4 „ „ „ „ „ 1 : 12
6b: 0,27 „ „ : 3,0 „ „ „ „ „ 1 : 11,1.

Auf diesen Punkt wird im folgenden näher eingegangen werden.

Das Ergebnis ist bis jetzt: durchweg gute Glasuren, mit einer Tonerdemenge bis 0,27 Äquivalente, sind nicht gefunden worden.

2. Glasuren mit 0,3 Äquivalente Tonerde.

Für die zweite Versuchsreihe wurden 0,3 Äquivalente Tonerde angewendet, wobei das Basenverhältnis der letzten Proben möglichst wenig verändert wieder aufgenommen, und die Kieselsäure so bemessen wurde, dass zunächst ein einfaches Silikat entstand, d. h. dass auf ein Äquivalent Monoxyd ein Äquivalent Kieselsäure kam, wie es für Nr. 7 in Tabelle XXVIII ausgedrückt ist durch $RO:SiO_2 = 1:1$. Hierbei ist noch zu berücksichtigen, dass das Sesquioxyd Al_2O_3 sich mit 3 Äquivalenten Kieselsäure zu einem Einfachsilikat vereinigt, dass man also die Menge der Tonerde mit 3 zu multiplizieren hat, um sie mit den Monoxyden auf dieselbe Stufe der säurebindenden Kraft zu bringen. Von dem Einfachsilikat aus wurde die Kieselsäure allmählich in geringen Stufen gesteigert; die ersten Proben hatten demnach die folgende Zusammensetzung:

Tabelle XXVIII.

Nr.	$RO:SiO_2$	SiO_2 i. d. Glasur	Tonerde und Basen
7	1 : 1	1,9	
8	1 : 1,1	2,1	
9	1 : 1,2	2,3	
10	1 : 1,3	2,5	$0{,}3\,Al_2O_3$ { $0{,}3\,K_2O$, $0{,}4\,CaO$, $0{,}2\,MgO$, $0{,}1\,BaO$
11	1 : 1,4	2,7	
12	1 : 1,5	2,85	
13	1 : 1,57	3,0	
14	1 : 1,74	3,3	
15	1 : 1,84	3,5	

Von diesen Proben ist das einfache Silikat Nr. 7 bei Segerkegel 7 und 9 opak und haarrissig. Vergleicht man dies Ergebnis mit dem der Einfachsilikate der 0,1 und 0,2 Äquivalente enthaltenden Glasuren 1a und 4a in Tabelle XXV, auf S. 59, so ergibt sich, dass sich mit der Steigerung der Tonerde eine Trübung eingestellt hat, während sich bisher das Gegenteil erwiesen hat. Der Widerspruch ist aber nur scheinbar, indem sich zeigt, dass dies ohne Zweifel damit zusammenhängt, dass die Kieselsäuremenge unzureichend wird, trotzdem in allen drei Fällen ein Einfachsilikat vorliegt, und die Kieselsäure prozentisch sogar eine Steigerung erfährt, indem sie auf 54,27 % in Nr. 7 gegenüber 49,24 % in Nr. 4a anwächst. Die nächste Glasur Nr. 8 mit 2,1 Äquivalent Kieselsäure ist wesentlich klarer, wenn auch einzelne Ausscheidungen

bestehen bleiben. Man darf daraus den Schluss ziehen, dass eine erhöhte Tonerdemenge eine höhere Kieselsäuremenge nicht nur zulässt, sondern geradezu verlangt, eine Beobachtung, die die späteren Glasuren bestätigt haben. Die auf Nr. 8 folgenden Glasuren zeigten sich ebenfalls mit Ausscheidungen behaftet. Diese nahmen immer mehr ab und verschwanden bei Nr. 10 und 11 auf der sandreichen Masse B (S. 33), auf gewöhnlichem Ton aber erst bei Nr. 14 mitsamt den Haarrissen. Nr. 15 zeigte wieder Trübungen, die einen zu grossen Gehalt an Kieselsäure zu erkennen gaben. Das gute Ergebnis bei Nr. 14 steht im Widerspruch mit der Erfahrung, dass man unter der Voraussetzung sonstiger günstiger Bedingungen nur dann die besten Glasuren erhält, wenn die Äquivalentzahl der Kieselsäure sich um ein Geringes unter dem Zehnfachen der Tonerdeäquivalente hält, denn in dieser Probe befinden sich Tonerde und Kieselsäure in dem Verhältnis 1 : 11.

Nr. 14 war aber nur bei Kegel 9 klar und trübe bei Kegel 7. In der Vermutung, dass die Basenmischung in dieser Glasur nicht günstig sei, wandte ich dieselbe Menge Tonerde und Kieselsäure noch einmal an, aber in Verbindung mit anderen Basenmischungen, die in Tabelle XXIX eingetragen sind.

Tabelle XXIX.

Nr.	Zusammensetzung des *RO*	Tonerde und Kieselsäure
16	0,3 K_2O 0,4 CaO 0,3 MgO	0,3 Al_2O_3 3,3 SiO_2
17	0,3 K_2O 0,4 CaO 0,3 BaO	
18	0,3 K_2O 0,5 CaO 0,2 MgO	
19	0,3 K_2O 0,5 CaO 0,2 BaO	
20	0,2 K_2O 0,5 CaO 0,3 MgO	
21	0,2 K_2O 0,5 CaO 0,3 BaO	
22	0,2 K_2O 0,6 CaO 0,2 MgO	
23	0,2 K_2O 0,6 CaO 0,2 BaO	

Die Ergebnisse lassen sich kurz dahin zusammenfassen, dass die Zusammensetzung der Basen in Nr. 17 am günstigsten wirkte, dann folgte Nr. 18, 21, 23. Mit 0,2 Äquivalenten Kali waren die Ergebnisse jedenfalls nicht so gut, wie mit 0,3 Äquivalenten und Magnesia war mit der verminderten Kalimenge überhaupt nicht zu brauchen. Die sich hieraus ergebende Überlegenheit des Baryumoxyds über die Magnesia steht im Einklang mit der Erkenntnis Segers u. a., dass die Schmelzbarkeit äquimolekularer Glasuren sehr von der Natur der Base abhängt, und dass gerade Magnesia besonders schwere Schmelzbarkeit bewirkt. Die Ergebnisse sind deshalb bemerkenswert, weil sie zeigen, dass man noch zu guten Glasuren mit solchen Kieselsäuremengen kommen kann, welche die praktische Erfahrung nach dem auf S. 64 ausgesprochenen Satz von vornherein als zu hoch bezeichnen würde. Solche Glasuren gelingen aber nur bei hohem und langem Feuer, und daher zeigt sich auch hier wieder, dass die Proben Nr. 17, 18, 21 und 23 bei Segerkegel 9 klar, bei Segerkegel 7 aber trübe sind. Hierdurch finden nun auch die früher erwähnten Proben 2b, 4b und 6b (S. 62) ihre Erklärung. Man muss annehmen, dass die Grenze für die Aufnahme der Kieselsäure bei 0,3 Äquivalenten Tonerde schon recht weit nach oben hinaufgeschoben ist.

Nun trat aber die Frage auf, ob es denn nicht möglich sein sollte, mit 0,3 Äquivalenten Tonerde und einer solchen Kieselsäuremenge, die innerhalb der praktischen Erfahrung lag, durchweg gute Glasuren zu gewinnen. Um die Entscheidung durch den Versuch herbeizuführen, wurden die Proben 8--11 noch einmal gemacht. Man setzte aber den basischen Teil nach den Erfahrungen der Tabelle XXIX günstiger zusammen. Gleichzeitig sollte festgestellt werden, wie sich in diesem Falle, wo von einem Überschuss an Kieselsäure nicht die Rede sein konnte, Magnesia als Flussbase gegenüber Baryumoxyd verhalten würde, und weiter, ob die Verminderung von Kali um 0,1 Äquivalent von merklichen Folgen begleitet sein würde. Die Proben bekamen demgemäss die in der Tabelle XXX (siehe S. 66) stehende Zusammensetzung, aus der man zugleich die Ergebnisse ersieht.

Die Ergebnisse reden eine deutliche Sprache: das erste günstige Basenverhältnis gibt fast durchweg gute Glasuren, nur Nr. 24 ist bei Segerkegel 7 noch ein wenig trüb; mit steigender Kieselsäure werden die Glasuren immer besser, und Nr. 27 erreicht den höchsten Grad an Klarheit und Glanz, der bisher überhaupt zu verzeichnen war. Überraschend ungünstig sind dagegen die Proben mit der Magnesia und dem verminderten Alkali. Nur Nr. 28 ist bei Segerkegel 9 gut, alle anderen Proben sind trübe und zwar nehmen die Trübungen bis Nr. 31 hin zu, bei Kegel 7 sind die Glasuren völlig opak. Von den vier letzten Proben ist bei Segerkegel 7 keine einzige klar, wenn sich auch die Trübungen auf absteigendem Aste bewegen, und bei Segerkegel 9 sind nur die höchsten Säuerungsstufen klar. Wenn nun auch aus diesen Ergebnissen der Schluss

Tabelle XXX.

Nr.	Kieselsäure in Äquivalenten								Al_2O_3	RO
	2,1		2,3		2,5		2,7			
	S.K. 9	S.K. 7	S.K. 9	S.K. 7	S.K. 9	S.K. 7	S.K. 9	S.K. 7		
24	gut	trüb							0,3	0,3 K_2O 0,4 CaO 0,3 BaO
25			gut	gut						
26					gut	gut				
27							gut	gut		
28	gut	opak							0,3	0,3 K_2O 0,5 CaO 0,2 MgO
29			trüb	opak						
30					trüb	opak				
31							trüb	opak		
32	trüb	trüb							0,3	0,2 K_2O 0,5 CaO 0,3 BaO
33			trüb	trüb						
34					gut	trüb				
35							gut	trüb		

zulässig ist, dass ein Gehalt an Alkali unter 0,3 Äquivalenten Kali nicht vorteilhaft ist, da er sich mit dem aus Nr. 20 bis 23 abgeleiteten deckt, so widerspricht es doch der Erfahrung, dass die immerhin geringe Veränderung der Basenmischung einen solchen Unterschied in den Ergebnissen hervorruft, wie er zwischen Nr. 24 bis 27 einerseits und Nr. 32 bis 35 andererseits vorhanden ist. Die Ursache liegt vielmehr an der Menge der Tonerde: Es reichen 0,3 Äquivalente Tonerde zwar aus, um unter gewissen günstigen Umständen gute Glasuren zu ergeben, aber sie bieten noch nicht eine genügend breite Grundlage dar, um ohne besondere Schwierigkeiten und mit genügender Sicherheit darauf zu arbeiten.

3. Glasuren mit 0,33 bis 0,4 Äquivalenten Tonerde.

Man steigerte die Tonerde langsam weiter, die Glasur

$$\text{Nr. 36.}\quad \left.\begin{matrix} 0{,}3\,K_2O \\ 0{,}4\,CaO \\ 0{,}2\,MgO \\ 0{,}1\,BaO \end{matrix}\right\}\ 0{,}33\,Al_2O_3\ 3{,}0\,SiO_2$$

war von ungünstigem Erfolg, indem starke Trübungen auftraten. Steigert man die Kieselsäure, setzt also

$$\text{Nr. 37.}\quad \left.\begin{matrix} 0{,}3\,K_2O \\ 0{,}4\,CaO \\ 0{,}2\,MgO \\ 0{,}1\,BaO \end{matrix}\right\}\ 0{,}33\,Al_2O_3\ 3{,}5\,SiO_2$$

so ist die Glasur bei Segerkegel 9 völlig klar und blank, bei Segerkegel 7 blind, und zwar, wie man sogleich erkennt, weil die Kieselsäure den Betrag der Tonerde um das Zehnfache überschreitet. Steigert man die Säure noch weiter und zwar auf 4 Äquivalente Kieselsäure in Glasur

$$\text{Nr. 38.}\quad \left.\begin{matrix} 0{,}3\,K_2O \\ 0{,}4\,CaO \\ 0{,}2\,MgO \\ 0{,}1\,BaO \end{matrix}\right\} 0{,}33\,Al_2O_3\;4{,}0\,SiO_2$$

so tritt auch bei Segerkegel 9 Entglasung auf. Steigert man dagegen die Tonerde in Nr. 36 unter gleichzeitiger Einführung einer günstiger wirkenden Basenmischung, wie in

$$\text{Nr. 39.}\quad \left.\begin{matrix} 0{,}3\,K_2O \\ 0{,}4\,CaO \\ 0{,}3\,BaO \end{matrix}\right\} 0{,}35\,Al_2O_3\;3{,}0\,SiO_2$$

so ist die Glasur klar, aber haarrissig. Eine Erhöhung der Kieselsäure auf 3,5 Äquivalente, wie in

$$\text{Nr. 40.}\quad \left.\begin{matrix} 0{,}3\,K_2O \\ 0{,}4\,CaO \\ 0{,}3\,BaO \end{matrix}\right\} 0{,}35\,Al_2O_3\;3{,}5\,SiO_2$$

beseitigt den Fehler und ergibt bei Segerkegel 9 eine tadellose Glasur, bei Segerkegel 7 ist sie aber noch etwas matt. Infolgedessen wurde die Tonerde weiter erhöht in Probe

$$\text{Nr. 41.}\quad \left.\begin{matrix} 0{,}3\,K_2O \\ 0{,}4\,CaO \\ 0{,}3\,BaO \end{matrix}\right\} 0{,}38\,Al_2O_3\;3{,}5\,SiO_2,$$

was die Glasur zwar bei Kegel 7 verbesserte, sie aber noch nicht völlig klärte. Erst die Glasur

$$\text{Nr. 42.}\quad \left.\begin{matrix} 0{,}3\,K_2O \\ 0{,}4\,CaO \\ 0{,}3\,BaO \end{matrix}\right\} 0{,}4\,Al_2O_3\;3{,}5\,SiO_2 \quad \text{(Versatz s. S. 52)}$$

war durchweg tadellos, durchsichtig, klar, glatt und glänzend. Es ist ganz auffällig, in wie hohem Grade klärend die geringe Vermehrung der Tonerde um 0,02 Äquivalente gewirkt hat. Diese Glasur ist im grossen zum Glasieren von Gefässen mit Unterglasurmalerei mit gutem Erfolg angewendet worden. Die Menge der Tonerde und ihr Verhältnis zur Kieselsäure $= 1:8{,}75$ ist hier so günstig, dass selbst mit derjenigen Basenmischung, die bisher niemals etwas durchweg Gutes gegeben hatte, ein ebenso gutes Ergebnis erzielt wurde, wie die Formel der Glasur

$$\text{Nr. 43.}\quad \left.\begin{matrix} 0{,}3\,K_2O \\ 0{,}4\,CaO \\ 0{,}2\,MgO \\ 0{,}1\,BaO \end{matrix}\right\} 0{,}4\,Al_2O_3\;3{,}5\,SiO_2$$

zeigt.

Man kann auch ohne Schaden die Kieselsäure noch etwas steigern, was in der Formel

$$\text{Nr. 44.}\quad \left.\begin{matrix} 0{,}3\,K_2O \\ 0{,}4\,CaO \\ 0{,}3\,BaO \end{matrix}\right\} 0{,}4\,Al_2O_3\;3{,}8\,SiO_2$$

geschehen ist. Hier kommen auf 1 Äquivalent Tonerde 9,5 Äquivalente Kieselsäure; damit ist man aber an der Grenze angelangt, denn bei dem Verhältnis 1 : 10, wie in der Glasur

$$\text{Nr. 45.}\quad \left.\begin{matrix} 0{,}3\,K_2O \\ 0{,}4\,CaO \\ 0{,}3\,BaO \end{matrix}\right\} 0{,}4\,Al_2O_3\;4{,}0\,SiO_2$$

entsteht nur noch bei Segerkegel 9 eine blanke Glasur, und setzt man Magnesia an die Stelle von Baryumoxyd, wie in

$$\text{Nr. 46.}\quad \left.\begin{matrix} 0{,}3\,K_2O \\ 0{,}4\,CaO \\ 0{,}2\,MgO \\ 0{,}1\,BaO \end{matrix}\right\} 0{,}4\,Al_2O_3\;4{,}0\,SiO_2,$$

so bekommt man überhaupt keine klare Glasur mehr.

Fassen wir das bisherige Ergebnis kurz zusammen, so finden wir: um in einer Steinzeugglasur die Verschiedenheit des Feuers in einem grossen Ofen auszugleichen, braucht man mindestens 0,4 Äquivalente Tonerde, die Kieselsäure darf das Zehnfache davon nicht überschreiten, sonst werden die Glasuren im unteren Teil des Ofens matt. Es ist vorteilhaft, nicht weniger als 0,3 Äquivalente Kali anzuwenden; Magnesia steht als Flussbase hinter Baryumoxyd zurück; mit diesem letzteren erzielt man sehr sichere Ergebnisse.

4. Glasuren mit mehr als 0,4 Äquivalenten Tonerde.

Um festzustellen, wie weit man mit der Tonerde in die Höhe gehen kann, wurden noch einige Glasuren mit 0,5 und 0,6 Äquivalenten Tonerde angesetzt. Es zeigte sich dabei zunächst, dass der zehnfache Betrag an Kieselsäure gegenüber der Tonerde nicht nur nicht mehr ungünstig war, sondern sogar erforderlich erschien, soweit man aus den verhältnismässig wenigen Proben einen allgemeineren Schluss ziehen darf. So war z. B. eine Glasur von der Zusammensetzung:

$$\text{Nr. 47.}\quad \left.\begin{matrix} 0{,}5\,K_2O \\ 0{,}5\,CaO \end{matrix}\right\} 0{,}5\,Al_2O_3\;5\,SiO_2$$

gut, während dieselbe Glasur mit 4,5 Äquivalenten Kieselsäure matt war. Man könnte danach folgende Reihe aufstellen, die aus den Glasuren Nr. 25, 42 und 47 abgeleitet ist:

Menge der Tonerde:	Menge der Kieselsäure:
0,3 Äquivalente	mindestens 7,7 mal soviel (25)
0,4 "	" 8,7 " " (42)
0,5 "	" 10,0 " " (47)

Damit findet die bereits ausgesprochene Erfahrung, dass eine Steigerung der Tonerde eine Steigerung der Kieselsäure nicht nur zulässt, sondern vielfach verlangt, einen sehr deutlichen Ausdruck. Die Glasuren mit 0,6 Äquivalenten Tonerde zeigten sich bereits recht zähflüssig und damit trat ein anderer Glasurfehler, die sogenannte Eierschaligkeit auf. Indem nämlich beim Schmelzen der Glasur die Kieselsäure mit den Karbonaten in Reaktion tritt, wird die Kohlensäure ausgetrieben und bildet in der teigigen Masse Bläschen. Diese verschwinden, indem beim weiteren Steigern der Temperatur die Glasur flüssig wird und sich schliesst. Die Glasur muss also einen gewissen Grad von Dünnflüssigkeit besitzen und muss längere Zeit im geschmolzenen Zustande bei höherer Temperatur verweilen. Die auf Seite 67 hervorgehobene Glasur Nr. 42 z. B. hat einen Schmelzpunkt zwischen Segerkegel 3 und 4, sie wird aber glatt gebrannt bei Segerkegel 7 bis 9, erfährt also eine Überhitzung, und es ist wiederum die Wirkung der Tonerde, die der Glasur eine gewisse Zähigkeit verleiht, dass damit nicht ein Abfliessen verbunden ist. Wenn nun aber die Glasur zähflüssiger wird, so bleiben die Bläschen darin zurück und zwar umsomehr, je grösser die Zähigkeit ist. Dadurch verlieren die Glasuren zunächst an Glanz und sehen, wenn die Bläschen überhand nehmen, körnig, gesprenkelt aus und erinnern dann entfernt an die Schale eines Eies. Da nun solche Eierschaligkeit an einigen Glasuren mit 0,6 Äquivalenten Tonerde zu beobachten war, besonders wenn die Brenndauer kurz war, und da ferner dieselbe Erfahrung bei den unter den gleichen Verhältnissen gebrannten Porzellanglasuren gemacht worden ist (vergl S. 45), so ist aus beiden zu schliessen, dass eine Tonerdemenge von 0,6 Äquivalenten für Steinzeugglasuren nicht mehr die notwendige Sicherheit bietet, dass demnach für die Tonerde 0,5 Äquivalente die oberste Grenze darstellen.

Das Gesamtergebnis der Untersuchung lässt sich nunmehr in die Worte zusammenfassen: Für Steinzeugglasuren, die bei den verschiedenen Temperaturgraden in einem und demselben Ofen gleichmässig gut werden sollen, liegt die Menge der Tonerde bei 0,4 bis 0,5 Äquivalenten, die Kieselsäure liegt zwischen dem 8,7 bis 10fachen davon und nähert sich immer mehr dem höchsten Betrage, je mehr die Tonerde wächst. Unzweifelhaft stellen aber 0,4 Äquivalente Tonerde die günstigste Grundlage für Steinzeugglasuren dar. Dieser Satz geht sowohl daraus hervor, dass von den sämtlichen vorstehenden Glasuren Nr. 42 mit 0,4 Äquivalenten Tonerde die beste war und in der Praxis stets bewährte Resultate gegeben hat; andererseits weist darauf der Umstand noch deutlicher hin, dass man noch zweimal auf anderen Wegen und unter anderen Verhältnissen Glasuren mit 0,4 Äquivalenten Tonerde als die besten gefunden hat, und zwar bei den Arbeiten über farbige Gläser für Porzellan (siehe S. 58) und bei den Versuchen eine Rohglasur für Segerkegel 4 zu gewinnen (siehe S. 70). Auf Grund des letztgenannten Ergebnisses kann man den obigen Satz noch dahin

ausdehnen, dass nicht nur für Segerkegel 7 bis 9, sondern auch für Temperaturen bis zu der durch Segerkegel 4 ausgedrückten Temperatur herunter 0,4 Äquivalente Tonerde die günstigste Menge daran für Steinzeugglasuren darstellen.

B. Glasuren für die Temperaturen von 1210 und 1170 Grad.

(Entsprechend Segerkegel 4 und 2.)

Im Abschnitt B sollen Versuche beschrieben werden, welche bezweckten, Glasuren herzustellen, die bei der den Segerkegeln 4 und 2 entsprechenden Temperatur glatt ausfliessen und dabei so durchsichtig werden, dass man sie als Decke für Farben unter der Glasur anwenden kann. Die Anregung dazu gab der Umstand, dass die Industrie in Höhr, welche sich mit der Herstellung fein verzierter Steinzeugwaren beschäftigt, über die genannten Temperaturen nicht hinauszugehen pflegt.

1. Glasuren für Segerkegel 4.

1. Glasuren ohne Anwendung gefritteter Bestandteile.

Es wurde zunächst eine Reihe systematischer Proben angesetzt, um Glasuren ohne Anwendung gefritteter Bestandteile, das heisst sogenannte Rohglasuren, zu gewinnen, die bei Segerkegel 4 in der Scharffeuermuffel den oben ausgesprochenen Anforderungen entsprachen. Unter anderem wurde versucht, Kalk und Tonerde in Form leicht schmelzbarer Mineralien wie Flussspat und Kryolith einzuführen; auch die Anwendung von Natronfeldspat an Stelle des Kalifeldspat ist probiert worden. Der Erfolg kann kurz dahin ausgesprochen werden, dass die Bemühungen nicht zu einem völlig befriedigenden Ergebnis geführt haben. Es wurden wohl glatte, blanke und auch klare Glasuren erzielt, aber sie besassen nicht denjenigen Grad von Durchsichtigkeit, den sie als Decke für Unterglasurfarben haben mussten. Man kam schliesslich zu zwei guten Glasuren von folgender Zusammensetzung:

$$\text{A.}\quad \left.\begin{array}{l} 0{,}3\,K_2O \\ 0{,}4\,CaO \\ 0{,}3\,BaO \end{array}\right\}\ 0{,}4\,Al_2O_3\ 3{,}3\,SiO_2$$

$$\text{B.}\quad \left.\begin{array}{l} 0{,}3\,K_2O \\ 0{,}4\,CaO \\ 0{,}3\,BaO \end{array}\right\}\ 0{,}4\,Al_2O_3\ 3{,}75\,SiO_2$$

die aus den folgenden Bestandteilen gemischt werden:

Glasur A.	166,8	Feldspat,	Glasur B.	166,8	Feldspat
	40,0	Marmor		40,0	Marmor
	59,1	Witherit		59,1	Witherit
	25,8	roh. Zettl. Kaolin		25,8	roh. Zettl. Kaolin
	78,0	Sand		105,0	Sand

Sie entsprechen den bereits in Nr. 42 und 44 (S. 67 und 68) beschriebenen Glasuren und es ist bemerkenswert, dass die beiden unter so verschiedenen Bedingungen durchgeführten Versuchsreihen fast dieselbe Glasurformel als die beste hervorgebracht haben. (Vergleiche hierzu auch S. 69). Hierzu möchte ich auch noch hervorheben, dass die Steigerung der Tonerde von 0,3 bis auf 0,4 Äquivalente von einer ausgesprochen günstigen Wirkung war. Die Vermehrung der Tonerde wurde in Stufen von 0,01 Äquivalent vorgenommen, und von Stufe zu Stufe nahm die Klärung der Glasur augenfällig zu. Diese Beobachtung bedeutet eine vortreffliche Ergänzung zu der auf S. 67 betonten Erscheinung, dass eine Steigerung der Tonerde um nur 0,02 Äquivalente eine auffällige Verbesserung der betreffenden Glasur zur Folge hatte. Die beiden Glasuren A und B bilden die leichtest flüssigen, brauchbaren, alkalisch erdigen Glasuren; sie haben sich ausserdem in so vielseitiger Weise bei unseren Arbeiten für Steinzeug verwenden lassen, dass sie beinahe die Bezeichnung von Universal-Glasuren verdienen.

2. Glasuren mit Anwendung gefritteter Bestandteile.

a) Glasuren mit natürlichen Fritten: Bimsand und Trachyt.

Man versuchte zunächst, gewisse im Westerwald vorkommende vulkanische Gesteine, die ihrer Entstehung nach als natürliche Fritten bezeichnet werden können, vor allem Bimsand und Trachyt, in die beiden Glasuren A und B als Grundglasuren einzuführen. Über die Zusammensetzung des Bimsandes findet man in den „Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte von Preussen“, zu den Blättern Montabaur, Selters, Mengerskirchen, eine Reihe von Analysen; eine Bimsandprobe von Höhr gab folgende Zahlen:

Kieselsäure	=	60,23 %
Titansäure	=	Spur
Tonerde	=	15,69 „
Eisenoxyd	=	8,04 „
Kalk	=	7,14 „
Magnesia	=	2,34 „
Glühverlust	=	5,80 „
Kali	=	0,70 „

Damit man nun diesen Bimsand in eine Glasurformel einführen kann, ist es nötig, ihn selbst in eine solche zu bringen. Zunächst hat man dazu die prozentischen Zahlen in Äquivalentzahlen umzuwandeln. Für die Kieselsäure würde das z. B. auf Grund folgender Überlegung geschehen: 60 Gewichtsteile Kieselsäure entsprechen 1 Äquivalent Kieselsäure, dann entsprechen

60,23 Gewichtsteile Kieselsäure x Äquivalenten. Wir bekommen also die Proportion:

$$60 : 1 = 60{,}23 : x$$

$$x = \frac{60{,}23}{60} = 1{,}0038.$$

Für die Tonerde hat man, da 1 Äquivalent Tonerde = 102 Gewichtsteilen Tonerde ist, die Proportion:

$$102 : 1 = 15{,}69 : x$$

$$x = \frac{15{,}69}{102} = 0{,}1538$$

Kurz, man hat die Prozentzahlen durch das Molekulargewicht zu teilen, um die Anzahl der Äquivalente zu erfahren. Verfährt man mit den übrigen Bestandteilen in der gleichen Weise und stellt die erhaltenen Zahlen in der bekannten Weise zusammen, so erhält man zunächst

$$\left.\begin{array}{l} 0{,}1005\,FeO \\ 0{,}1275\,CaO \\ 0{,}0585\,MgO \\ 0{,}0075\,K_2O \end{array}\right\} 0{,}1538\,Al_2O_3\ 1{,}0038\,SiO_2$$

Dieser Formel entsprechen 100 Gewichtsteile Bimsand; die Summe der Basen beträgt 0,294. Um sie auf 1 zu bringen, ist die ganze Formel mit 3,401 zu multiplizieren. Das ergibt:

$$\left.\begin{array}{l} 0{,}3417\,FeO \\ 0{,}4336\,CaO \\ 0{,}1992\,MgO \\ 0{,}0255\,K_2O \end{array}\right\} 0{,}5231\,Al_2O_3\ 3{,}415\,SiO_2$$

Man rundet nun die Zahlen in passender Weise ab:

$$\left.\begin{array}{l} 0{,}34\,FeO \\ 0{,}43\,CaO \\ 0{,}20\,MgO \\ 0{,}03\,K_2O \end{array}\right\} 0{,}5\,Al_2O_3\ 3{,}4\,SiO_2$$

Dieser Formel entsprechen dann $100 \times 3{,}401 = 340$ Gewichtsteile Bimsand. Man bekommt also für den Bimsand von der angegebenen Zusammensetzung die runde Formel:

$$RO \,.\, 0{,}5\,Al_2O_3 \,.\, 3{,}4\,SiO_2 = 340$$

und kann damit ebenso rechnen, wie etwa mit der Formel des Feldspats:

$$K_2O \,.\, Al_2O_3 \,.\, 6\,SiO_2 = 556.$$

Man kann durch eine solche Umrechnung, die mit jedem Rohstoff ausführbar ist, wenn nur die Gewichtsanalyse davon vorliegt, jedes Material in eine bequem zu handhabende Form bringen.

Für einen Trachyt von Selters im Westerwald ist folgende chemische Zusammensetzung gefunden worden:

Kieselsäure	=	55,35 %
Eisenoxyd	=	20,82 „
Tonerde	=	12,05 „
Kalk	=	5,17 „
Magnesia	=	0,97 „
Glühverlust	=	1,81 „
Kali	=	3,83 „

daraus berechnet sich in gleicher Weise wie vorher die Formel

$$\left.\begin{matrix} 0{,}62\,FeO \\ 0{,}22\,CaO \\ 0{,}06\,MgO \\ 0{,}10\,K_2O \end{matrix}\right\} 0{,}28\,Al_2O_3\;2{,}22\,SiO_2$$

oder rund $RO\,.\,0{,}28\,Al_2O_3\,.\,2{,}2\,SiO_2 = 240$.

Die Versuche mit Bimsand und Trachyt wurden in der Weise angesetzt, dass in die Glasuren A und B $0{,}3\,RO$ anstatt $0{,}3\,K_2O$ eintraten. Es zeigte sich bald, dass die Glasur A wegen ihres geringeren Kieselsäuregehaltes nicht geeignet war, darum sollen nur die Ergebnisse mit der Glasur B besprochen werden. Die neue Glasur nahm also zunächst die Formel an:

$$\text{Nr. 1.}\quad \left.\begin{matrix} 0{,}3\,RO \\ 0{,}4\,CaO \\ 0{,}3\,BaO \end{matrix}\right\} 0{,}4\,Al_2O_3\;3{,}75\,SiO_2,$$

und es wurde $0{,}3\,RO$ a) aus Bimsand, b) aus Trachyt entnommen. Beide Glasuren waren entschieden besser als B, blank und glänzend, wodurch sich namentlich 1a auszeichnete, haarrissefrei und durchsichtig, aber für Unterglasurfarben doch noch nicht durchsichtig genug. Es wurde also versucht, in einer zweiten Probe die Menge der Fritte zu verdoppeln und dazu die Basenmischung in folgender Weise verändert:

$$\text{Nr. 2.}\quad \left.\begin{matrix} 0{,}2\,K_2O \\ 0{,}6\,RO \\ 0{,}2\,BaO \end{matrix}\right\} 0{,}4\,Al_2O_3\;3{,}75\,SiO_2.$$

In diese Formel liess sich nur Trachyt einführen. Das Ergebnis war auch gut, blieb aber bezüglich der Durchsichtigkeit hinter dem erwarteten zurück. Auf empirischem Wege, z. B. durch Mischung von

50 bis 70	Gew.-T.	Glasur B
50 bis 30	„	Bimsand bezw. Trachyt

erzielte man nicht dieselben guten Ergebnisse wie durch Berechnung.

Es ist also auch auf diesem Wege keine völlig befriedigende durchsichtige Glasur erzielt worden, wenigstens bis jetzt noch nicht, denn ich zweifle durchaus nicht daran, dass es mit diesen natürlichen Fritten möglich ist, das Ziel zu erreichen.

b) Glasuren mit künstlichen Fritten.

Nunmehr ging man zu Versuchen mit künstlichen Fritten über, wozu zunächst die beiden schon genannten Segerschen Fritten I und II (S. 45), ferner Fritte III Anwendung fand. Diese hat folgende Formel:

$$\text{Fritte III.}\quad \left.\begin{matrix} 0{,}5\,Na_2O \\ 0{,}5\,CaO \end{matrix}\right\} 1{,}5\,SiO_2\;0{,}5\,B_2O_3$$

und wird aus folgenden Stoffen zusammengemischt:

53 Gew.-Teile calc. Soda,
50 „ Marmor,
90 „ Sand,
62 „ kristallisierte Borsäure.

Die Versuche wurden nur auf empirischem Wege angestellt. Die Mischungen und die Ergebnisse sind aus der Tabelle XXXI ersichtlich.

Tabelle XXXI.

<table>
<tr><th colspan="9">Zusammensetzung der Proben</th></tr>
<tr><th rowspan="2">Nr.</th><th rowspan="2">Glasur B</th><th>Reihe A</th><th>Reihe B</th><th>Reihe C</th><th rowspan="2">Glasur A</th><th>Reihe D</th><th>Reihe E</th><th>Reihe F</th></tr>
<tr><th>Fritte III</th><th>Fritte I</th><th>Fritte II</th><th>Fritte III</th><th>Fritte I</th><th>Fritte II</th></tr>
<tr><td>1</td><td>90</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>90</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr>
<tr><td>2</td><td>80</td><td>20</td><td>20</td><td>20</td><td>80</td><td>20</td><td>20</td><td>20</td></tr>
<tr><td>3</td><td>70</td><td>30</td><td>30</td><td>30</td><td>70</td><td>30</td><td>30</td><td>30</td></tr>
<tr><td>4</td><td>60</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td><td>60</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td></tr>
<tr><td>5</td><td>50</td><td>50</td><td>50</td><td>50</td><td>50</td><td>50</td><td>50</td><td>50</td></tr>
<tr><th colspan="9">Ergebnisse</th></tr>
<tr><td>1</td><td></td><td>leicht trüb</td><td>trüb</td><td>trüb</td><td></td><td rowspan="5">Trübungen in zunehmendem Masse</td><td>trüb</td><td>fast klar</td></tr>
<tr><td>2</td><td></td><td rowspan="4">Trübungen in zunehmendem Masse</td><td>trüb</td><td>trüb</td><td></td><td>klarer</td><td>fast klar</td></tr>
<tr><td>3</td><td></td><td>klar, aber haarrissig</td><td>vollk. klar ohne Haarrisse, nicht ablaufend</td><td></td><td>fast klar</td><td>vollk. klar</td></tr>
<tr><td>4</td><td></td><td>die Klarheit steigt, die Risse nehmen ab</td><td>trüb</td><td></td><td>klar</td><td>vollk. klar haarrissig, ablaufend</td></tr>
<tr><td>5</td><td></td><td>vollk. Klarheit, Haarrisse erst nach einiger Zeit</td><td>trüb</td><td></td><td>vollk. klar haarrissig, ablaufend</td><td>teilweise getrübt</td></tr>
</table>

In Reihe A nehmen mit steigendem Gehalt an Fritte III die Trübungen immer mehr zu, in Reihe B mit Fritte I dagegen werden die Proben immer klarer und erreichen endlich eine vollkommene Durchsichtigkeit. Da die zugesetzten Fritten in bezug auf die Kieselsäure und Borsäure fast gleich sind, so kann die Ursache nur in der Basenzusammensetzung der Fritte III liegen, indem durch diese eine zu starke Häufung an Alkalien oder Kalk hervorgerufen wird. Reihe C beginnt mit getrübten Glasuren, bei 30 % Fritte ist aber die Glasur vollkommen klar und haarrissefrei und hat sich auch später in dieser Weise bewährt. Hier ist also schon mit 30 % Fritte dasselbe erreicht worden, wie in Reihe B mit 50 %, was auf den höheren Gehalt an Borsäure zurückzuführen ist. Gleichzeitig ist Probe C 3 haarrissefrei, während die entsprechende Probe in Reihe B noch rissig ist. Das hängt mit der grösseren Menge Kieselsäure in der zu Reihe C gehörigen Fritte II zusammen. Bei 40 und 50 % Fritte treten in Reihe C wieder Ausscheidungen auf, die wahrscheinlich von einer zu starken Steigerung der Kieselsäure herrühren, was ein Vergleich mit Glasur B 5 bestätigt, indem diese, mit der weniger sauren Fritte I hergestellt, klar ist. Übrigens kann auch die durch die Steigerung der Fritte II vermehrte Borsäure beteiligt sein.

Die Reihe D und E stimmt mit A und B darin überein, dass die Trübungen in ersterer zunehmend auftreten, in letzterer immer mehr verschwinden, bis endlich E 5 den höchsten Grad von Klarheit, Durchsichtigkeit und spiegelndem Glanz erreicht hat, leider aber dabei haarrissig ist und abläuft, was auf den Mindergehalt der Glasur A an Kieselsäure zurückzuführen ist. Beim Vergleich dieser Glasur mit B 5 tritt dies ohne weiteres hervor. In Reihe F zeigt sich die Wirkung der grösseren Borsäuremenge darin, dass die Glasuren von Anfang an klarer sind als die entsprechenden der Reihe E. F 3 ist bereits völlig klar und durchsichtig, während E 3 noch nicht ganz klar ist. F 4 ist ebenso glänzend wie E 5, aber auch haarrissig und ablaufend; das Haarrissenetz ist aber weitmaschiger als bei E 5, die Differenz in der Ausdehnung von Glasur und Scherben also geringer geworden, eine Folge des höheren Kieselsäuregehaltes der Fritte II. F 5 zeigt sich wieder teilweise getrübt, was mit derselben Erscheinung bei C 5 übereinstimmt und dieselbe Ursache hat, nämlich eine zu grosse Menge an Kieselsäure. Recht deutlich wird dies auch noch beim Vergleich von F 4 und C 4. Beide unterscheiden sich nur dadurch, dass in der letzten Probe die kieselsäurereichere Grundglasur B steht, die Folge davon ist, dass diese schon entglast ist, während F 4 noch vollkommen klar ist.

Am besten von den sechs Reihen sind die Proben C 3 und F 3, das sind die beiden Grundglasuren A und B mit 30 % Fritte II. Erstere Glasur hat sich mehrfach bewährt; Haarrisse wurden auf gewöhnlichem Ton nie bemerkt. Wendet man aber an dessen Stelle bimsandhaltige Massen an, die bei Segerkegel 4 vollständig dicht

werden, z. B. Masse 91 (auf S. 40), so treten Haarrisse auf. Für diese Masse stellte man eine passende Glasur dadurch her, dass man die Glasur Nr. 42 so hoch als möglich frittete und die Fritte mit gleichen Teilen derselben Rohglasur fein vermahlte. Man bekommt eine klare, durchsichtige und tadellos haltende Glasur, die dabei noch den Vorteil bietet, dass sie nicht den speckigen Glanz der borsäurehaltigen Glasuren besitzt, sondern den milden Glanz der echten Steinzeugglasuren, infolgedessen den Charakter des Steinzeugs besser bewahrt. Dies tritt namentlich bei Malereien unter der Glasur angenehm hervor.

II. Glasuren für die Temperatur des Segerkegels 2 mit künstlichen Fritten.

Es macht keine Schwierigkeit, auf Grund der vorstehenden Erfahrungen durch passende Mischungen der beiden Rohglasuren A und B und der Segerschen Fritten I und II klare und glänzende Glasuren auch für niedrigere Temperaturen, als Segerkegel 4 angibt, z. B. für die Temperatur des Segerkegel 2 zu erzeugen. Die Schwierigkeit liegt vielmehr darin, der immer grösseren Spannungsdifferenz zwischen der Glasur und dem wesentlich ungareren Scherben zu begegnen. Um eine Glasur für Segerkegel 2 herzustellen, wurden folgende Mischungen angewendet:

	1	2	3	4	5	6
Glasur A	40	50	60	—	—	—
Fritte I	60	50	40	60	50	40
Glasur B	—	—	—	40	50	60

Die Glasuren waren sonst gut, aber sie kamen schon mit Haarrissen aus dem Ofen, nur Nr. 4 bekam sie erst nach einiger Zeit. Der Fehler verschwand sofort, als entsprechend den Erfahrungen in der Steingutfabrikation dem Ton Sand hinzugefügt wurde, und zwar hielt Nr. 4 tadellos, sowohl auf einer Mischung von 100 Teilen Ton und 30 Teilen Sand, als auch auf der sandreichen Masse B (S. 33). Der andere ebenfalls gangbare Weg, die Einführung von Sand in die Glasur, führte zu keinem praktisch verwertbaren Ergebnis; erst eine Gabe von 30 Teilen Sand auf 100 Teile Glasur 4 brachte die Haarrisse zum Verschwinden. Dabei verlor aber die Glasur schon zu stark an Glanz. Es gelang aber doch, auch auf unvermischtem Tone eine bei Segerkegel 2 klar ausfliessende und dabei fehlerlos haftende Glasur herzustellen, indem man auf die kieselsäurereichste Probe Nr. 6 zurückgriff und in diese

steigende Mengen von Sand einführte. Es ergab sich, dass die Mischung

60 Teile Glasur B
40 „ Fritte I
20 „ Sand

eine haarrissefreie und auch sonst befriedigende Glasur lieferte.

Die Ergebnisse des Abschnittes B sind folgende:

1. Glasuren ohne gefrittete Bestandteile werden bei der Schmelztemperatur des Segerkegels 4 und kurz dauerndem Feuer auf Steinzeugscherben zwar glatt und blank, aber sie erreichen nicht eine so vollkommene Durchsichtigkeit, um als Decke für Unterglasurfarben dienen zu können.

2. Trachyt und namentlich Bimsand befördern den Glanz und die Klarheit von Rohglasuren bei einem Feuer, das Segerkegel 4 zum Schmelzen bringt, in sehr guter Weise.

3. 0,4 Äquivalente Tonerde mit dem 8,7 fachen Betrag an Kieselsäure stellen die günstigste Grundlage für Rohglasuren dar, die bei Segerkegel 4 gebrannt werden sollen. Dieses Ergebnis deckt sich mit dem, welches bei den Glasuren für die Schmelztemperatur der Segerkegel 7 und 9 gefunden worden ist.

V. Teil.

Unterglasurfarben für Steinzeug.

Die folgenden Ausführungen sind hauptsächlich technischer Natur; sie sollen die Wege beschreiben, die zur Herstellung von Unterglasurfarben für Steinzeug von uns eingeschlagen wurden und sollen die dabei gewonnenen Erfahrungen schildern. Eine Ausdehnung des Themas auf allgemeine Betrachtungen erscheint ohnedies deswegen unnötig, weil solche über Unterglasurfarben für Porzellan und Steingut nebst praktischen Belehrungen schon mehrfach erfolgt sind, z. B., um nur einen Verfasser zu nennen, von Seger.

Die Herstellung der Unterglasurfarben im allgemeinen.

Herstellung der Farbkörper.

Bestimmend für den Wert einer Unterglasurfarbe ist ihre Zuverlässigkeit, d. h. sie muss unter den einmal ausprobierten Verhältnissen denselben Farbenton unverändert beibehalten, wobei nur ganz kleine Abweichungen als eine unvermeidliche Folge des wechselvollen Feuers zugegeben werden. Die Massnahmen bei der Herstellung der Farben gehen demnach auch von dem Gesichtspunkt

aus, ihre Beständigkeit so weit als möglich zu gewährleisten. Von diesen ist eine der wichtigsten die, dass man die färbenden Oxyde nicht allein anwendet, sondern meist mit Tonerde zu einem sogenannten „Farbkörper" verbindet, welcher der lösenden Kraft der geschmolzenen Glasur einen weit grösseren Widerstand bietet. Einer der gebräuchlichen Darstellungsmethoden folgend, wurden die Farbkörper aus den fertigen Oxyden und dem Tonerdehydrat innig gemischt, geglüht, gewaschen und getrocknet. Nachdem Seger darauf hingewiesen hat, dass die Farben umso beständiger in ihrem Ton sind je höher die Farbkörper geglüht wurden, haben wir die unsrigen möglichst ebenso hoch erhitzt, als die Brenntemperatur der Ware betrug, also bis zu etwa 1300° (Segerkegel 9). Die Voraussetzung ist aber dabei, dass die Mischung durchaus locker bleibt; keinesfalls darf ein Zusammenfritten eintreten, denn ganz abgesehen von der Arbeit, die für die Zerkleinerung der Fritte aufzuwenden ist, sind die Farben bei weitem nicht so streichfähig, wie jene aus lockeren Körpern. Dieser Bedingung entsprachen weder die zinkoxyd-, noch die zinnsäure-, noch die phosphorsäurehaltigen Farbkörper. Die ersteren beiden wurden deshalb bei Segerkegel 4, die letzteren bei Segerkegel 010 verglüht.

Auch das zweite Verfahren zur Gewinnung von Farbkörpern, das gleichzeitige Niederschlagen der Oxyde aus der wässrigen Lösung, ist häufig von uns angewendet worden. Zu dem Zwecke löste man die entsprechenden Salze in reichlichem Wasser auf, filtrierte, wenn nötig, und goss die Lösungen zusammen. Dann fällte man unter lebhaftem Umrühren mit einer verdünnten Soda- oder Ammoniaklösung, dekantierte in grossen Steinzeuggefässen bis zum Verschwinden der Schwefelsäurereaktion — unter den Salzen befand sich stets ein Sulfat — filtrierte, trocknete und glühte. Ausser den später noch angeführten Salzen fand Eisenvitriol und Mangansulfat Verwendung. Ersteres wurde vor der Fällung mit Salpetersäure oxydiert. Da aber das Eisenoxydulhydrat sich an der Luft selbst oxydiert, so versuchte man einmal, die Behandlung mit der Säure zu ersparen, fällte die Eisenvitriollösung direkt und erhielt nach dem Glühen in der Tat ein Pulver, dass nach seiner roten Farbe zu urteilen aus Eisenoxyd zu bestehen schien; indem aber die damit hergestellten Farben grünstreifig ausfielen, zeigte es sich, dass doch noch geringe Oxydulmengen zurückgeblieben sein mussten.

Die Schwierigkeit auf dem letzten Wege liegt in der langen Dauer des Auswaschens und der Filtration der ungemein voluminösen Niederschläge; dafür aber bekommt man eine so innige Mischung der einzelnen Bestandteile, wie sie aus fertigen Oxyden nie zu erreichen ist, und die Farben sind hinsichtlich der Beständigkeit und der Schönheit den sonst gleichen, aber mit Farbkörpern aus fertigen Oxyden hergestellten Oxyden merklich überlegen.

In der stöchiometrischen Zusammensetzung der Farbkörper wurde die des Spinells besonders angestrebt, da sie nach den

allgemeinen Erfahrungen die beste Gewähr für Zuverlässigkeit darbietet, was damit zusammenhängt, dass sie eine grosse Widerstandskraft gegen lösende Angriffe besitzt, wie z. B. der Chromeisenstein beweist. Nach diesen Erfahrungen zu urteilen, scheinen derartige Verbindungen oft zu entstehen, wenn man ein Hydrat eines Monoxyds und eines Sesquioxyds zusammenglüht; in einzelnen Fällen ist dies ja auch bekannt, so z. B. dass ein Kobaltaluminat $CoAl_2O_4$ sich bildet, wenn man Tonerdehydrat mit Kobaltoxydulhydrat oder Tonerde mit Kobaltnitrat erhitzt, oder wenn man eine mit Kobaltoxydulsalzlösung vermischte Alaunlösung mit Soda fällt. Ein auf die letzte Art erzeugter Farbkörper mit der Formel $CoO . Al_2O_3$ leistete selbst einer starken kochenden Salzsäure längere Zeit Widerstand, ehe Kobaltoxyd in Spuren abgegeben wurde. Solche spinellartigen Farbkörper haben sich auch bei unseren Versuchen stets gut bewährt. Es ist aber doch nicht immer tunlich gewesen, das Schema innezuhalten, und die folgende Einzeldarstellung unserer praktisch in grösserem Massstabe verwendeten Farbkörper wird zeigen, dass man auch andere Zusammensetzungen mit Erfolg anwenden kann.

Das Zinkoxyd wirkte in ausgesprochener Weise aufhellend auf Gemische von Tonerde und Kobaltoxyd, ebenso auf Eisenoxyd allein oder in Mischung mit Chromoxyd oder auf Chromoxyd mit Kobaltoxyd; auf Chromoxyd allein war dagegen die Wirkung ungünstig, indem hässliche, braunstichige, grüne Farben entstanden. Vorteilhaft wirkte das Zinkoxyd auch noch insofern, als die Farbe an den Rändern weich stand und zart in die Glasur verlief. Auffällig ist es, dass nicht ein einziges Mal das Rinmansche Grün beobachtet wurde, obwohl Mischungen aus Kobaltoxyd und Zinkoxyd häufig zur Anwendung kamen. Dem Zinkoxyd ähnlich wirkte auch das Zinnoxyd, soweit die relativ wenigen Versuche zu erkennen gegeben haben. In den blauen Farben bewährte die Phosphorsäure ihre Fähigkeit, den Ton glänzender, wärmer und feuriger zu machen, in ausgezeichneter Weise, während Nickeloxyd in den verschiedenen Farben im allgemeinen einen günstigen abstumpfenden Einfluss ausübte.

Die Zuverlässigkeit der Farben war endlich noch abhängig von der Anzahl der Bestandteile des Farbkörpers; sie zeigte sich am grössten bei einem bis zweien, verminderte sich bei drei Oxyden, besonders dann, wenn zwei färbende dabei waren. So gab z. B. Chromoxyd allein, wenn es richtig hergestellt, und in eine gute Mischung eingeführt war, stets ein gutes Resultat, dagegen lösten sich Farbkörper aus Eisen-Chrom-Kobaltoxyd oder Eisen-Mangan-Chromoxyd in sehr wechselnde blaue bis braune Töne auf.

Verarbeitung der Farbkörper zu Unterglasurfarben.

Der fertige Farbkörper ist als Unterglasurfarbe noch nicht tauglich, da er infolge seines körnigen Charakters derjenigen Plastizität ermangelt, die zum gleichmässigen Verteilen auf den

Gefässflächen verlangt wird. Um ihm diese zu erteilen, wird er mit Zettlitzer Kaolin gemischt; einige Male wandten wir auch geschlämmten Lämmersbacher Ton an, welcher der Farbe eine ausserordentliche Streichfertigkeit verleiht. Wegen seines Eisengehaltes musste man aber mit dem Tonzusatz sparsam sein und ihn in den reinen Chromfarben gänzlich beiseite lassen, da schon geringe Eisenmengen eine Missfärbung des Grün zur Folge haben. Ferner muss die Farbe eine gewisse Elastizität besitzen, damit sie beim Verschmelzen mit der Glasur nicht reisst oder aufgetrieben wird. Zu dem Zweck wurden 10 % derselben Glasur beigemengt, mit der das Gefäss überzogen war. Für Segerkegel 7 bis 9 hat sich diese Menge immer ausreichend erwiesen; für Segerkegel 4 war eine Erhöhung auf 15 % geboten. Dieser Zusatz hat gleichzeitig den Vorteil, dass an den Rändern ein zartes Verlaufen der Malerei eintritt, so dass sie sich nicht mit einer unschönen Härte von dem Scherben abheben. Um eine grössere Sicherheit zu haben, dass die angeglühten Farben beim Abstäuben mit dem Pinsel oder beim Eintauchen in die Glasur nicht losliessen und das Bad verunreinigten, führte man später eine kleine Menge einer bei Segerkegel 010 schmelzenden Fritte ein; man konnte davon bis zu 5 % verwenden, ohne dass die Porosität der bemalten Stelle irgendwie merklich verringert wurde, so dass eine gleichmässige Glasurannahme erfolgte. Unbedingt nötig ist der Frittezusatz allerdings nicht; anfangs arbeiteten wir selbst mit einer davon freien Mischung ohne Störung; ich glaube aber doch, dass in dem sichereren Haften der Farbe am Scherben eine Verbesserung gegeben ist. Die Zusätze zu den Farbkörpern, durch die er erst zur Unterglasurfarbe wird, also Kaolin, Glasur und unter Umständen Fritte, möchte ich zusammen kurz als „Backmischung“ bezeichnen; dann besteht die Unterglasurfarbe aus zwei Teilen:

1. aus dem Farbkörper,
2. aus der Backmischung.

Wenn es gelang, eine Backmischung zu finden, die zu einer möglichst grossen Anzahl von Farbkörpern passte, so dass diese eine unter Umständen schon genügte, so war damit eine bedeutende Vereinfachung für die Praxis gewonnen. In ihrer relativen Schmelzbarkeit sind die Farbkörper sehr voneinander unterschieden, man braucht bloss an die stark tonerdehaltigen auf der einen und die stark zinkhaltigen auf der anderen Seite zu denken; glücklicherweise aber treten diese Unterschiede, wenigstens nach unseren Erfahrungen, für Steinzeugbrenntemperatur und mit Steinzeugglasuren, nicht allzu schroff hervor, wenn es sich nur darum handelt, dass die Farbe zwar mit der Glasur innig verschmilzt, aber ohne diese zu färben oder zu trüben. Es war also zu vermuten, dass eine gute Backmischung für einen harten Farbkörper sich auch für viele andere geeignet erweisen würde. Man

wählte einen solchen von der Zusammensetzung $Cr_2O_3 . Al_2O_3$ und stellte folgende Proben her:

1,00 g roher Zettlitzer Kaolin
0,20 „ Glasur 42
0,1 bis 0,9 g Farbkörper in Stufen von 0,2 g.

Die Mischungen wurden innigst verrieben, auf Tonplättchen in Strichen von verschiedener Dicke aufgetragen, bei Segerkegel 010 zur Befestigung der Farbe geglüht und mit der Glasur 42 glasiert. Dann wurden die Proben bei Segerkegel 7 in der Scharffeuermuffel gebrannt. Das Ergebnis war, dass sie sämtlich zu hart waren; man verminderte also die Menge des Kaolins und führte an seiner Stelle Feldspat ein, so dass nun die Proben bestanden aus:

0,5 g roher Zettlitzer Kaolin
0,5 „ Feldspat
0,2 „ Glasur 42
0,1 bis 0,9 g Farbkörper.

Die Wirkung des Feldspats liess nichts mehr zu wünschen übrig; in bezug auf Tiefe, Weichheit und Glanz des Farbtones war die letzte Mischung mit 0,9 g Farbkörper am besten; sie besteht in runden Prozenten aus:

20	G. T.	roher Zettl. Kaolin	= 55 G.T. Backmischung.
25	„	Feldspat	
10	„	Glasur 42	
45	„	Farbkörper	

Rechnet man obige 55 Teile Backmischung ineinander, so bekommt man folgende prozentische Zusammensetzung, die bezeichnet sei als:

Mischung U:	53,40	Gew.-Teile	Feldspat
	1,91	„	Marmor
	2,82	„	Witherit
	37,59	„	roher Zettlitzer Kaolin
	4,28	„	Sand

Die Unterglasurfarben setzen sich dann nach dem allgemeinen

Schema I:	55	Teile	Mischung U
	45	„	Farbkörper

zusammen, nach dem 70 Farbkörper geprüft worden sind und von denen nur 9 versagt haben, meist solche mit viel Tonerde oder Chromoxyd. Die vorhin ausgesprochene Vermutung bezüglich einer allgemeineren Verwendbarkeit der gefundenen Backmischung ist also bestätigt.

Für eine zweite Backmischung wurde später ein Schlicker zugrunde gelegt, der auf dem Höhrer Ton hielt, ohne zu reissen. Setzte man darin an die Stelle des Sandes den gleichfalls magernden Farbkörper, so erfolgte

Schema II:	35	Gew.-Teile	roher Zettlitzer Kaolin
	3	„	Fritte III (S. 74)
	10	„	Steinzeugglasur
	52	„	Farbkörper.

Auch dies Schema hat sich für die verschiedensten Glasuren und Farbkörper passend gezeigt, und es wäre gewiss nicht schwer, auf dieser Grundlage ebenfalls zu einer Reihe analog zusammengesetzter Unterglasurfarben zu kommen. Man braucht in dem Schlicker auch nicht den ganzen Sand durch den Farbkörper zu verdrängen; indem man vielmehr allmählich steigende Gaben des letzteren einführt, kann man schon mit einem Farbkörper mehrere Tonstufen erzeugen. Auch sind Verschiebungen in der Menge der einzelnen Bestandteile zulässig — unsere Prüfungen bewegten sich allerdings nur innerhalb enger Grenzen; eine der Abänderungen sei mit Rücksicht auf die folgende Einzeldarstellung hier noch als

Schema IIa.	30	Gew.-Teile	roher Zettlitzer Kaolin
	5	„	Fritte III
	10	„	Steinzeugglasur
	55	„	Farbkörper

mitgeteilt.

Einzelschilderung von Farbkörpern und Farben.

In der folgenden Schilderung sind nur solche Farben berücksichtigt, die entweder in der Malereiabteilung der Schule eine grössere praktische Verwendung gefunden, oder bei wiederholten Versuchen im Laboratorium gute Ergebnisse geliefert haben. Es handelt sich hauptsächlich um solche, die im Rundofen bei Segerkegel 7 bis 9 gebrannt worden sind, später wurden Farbproben auch in der Muffel bei Segerkegel 7 gemacht, und zuletzt jene für Segerkegel 4, die sich unmittelbar an die Versuche, Massen und Glasuren für diese Temperatur herzustellen, anreihten. Auch für unsere Porzellanmassen sind die hier geschilderten Farbkörper zu Farben unter der Glasur verarbeitet worden. Sie schliessen sich in ihrer Herstellung und Wirkung so eng an die Steinzeugfarben an, dass sie einer besonderen Besprechung nicht bedürfen. Überall, wo im folgenden keine ausdrücklichen Bemerkungen gemacht sind, ist Schema I und II anwendbar; Abweichungen in den Backmischungen sind Versuchen entsprungen, neue Mischungen für Unterglasurfarben zu finden.

I. Farben für Steinzeug bei Segerkegel 7 bis 9.

A. Blaue Farben.

Farbkörper I: $CoO \cdot Al_2O_3$.

Man mischt:

74,5	Gew.-Teile	reines Kobaltoxyd
156,0	„	techn. Tonerdehydrat

oder man löst:

290	Gew.-Teile	krist. Kobaltnitrat
664	„	techn. Aluminiumsulfat

zu einem Volumen von 3 Litern und fällt mit 680 Gew.-Teilen calc. Soda, die in drei Litern Wasser gelöst ist. Der Farbkörper kann bis zu den höchsten Temperaturen, bei jedem Feuer, verglüht werden, ohne dass bei unseren Mischungen ein merklicher Einfluss auf die Farbe hervorgetreten wäre; doch scheint Segerkegel 9 und rauchiges Feuer am günstigsten zu sein. Er gibt ein helles Blau, das auch in dünner Lage gut deckt und hat sich stets bewährt.

Man erhält ein sehr reines, praktisch verwendetes Blau, wenn man mischt:

Ia. 46 Gew.-Teile roher Zettlitzer Kaolin
31 „ geschlämmter Ton von Lämmersbach
8 „ Farbkörper I
15 „ Glasur von der Formel:

$$\left.\begin{matrix}0{,}1\,K_2O\\0{,}9\,CaO\end{matrix}\right\}0{,}6\,Al_2O_3\,4\,SiO_2$$ (vergl. S. 61),

mit dem Versatz:

55,6 Gew.-Teile Feldspat
129 „ roher Zettlitzer Kaolin
144 „ Sand
90 „ Marmor.

Die Mischung

Ib. 100 Gew.-Teile roher Zettlitzer Kaolin
20 „ Farbkörper I
20 „ Glasur 42

wirkt auch gut, braucht aber langes und hohes Feuer.

Man kann die Tonerde steigern bis auf 5 Äquivalente (= 780 Gew.-Teile Tonerdehydrat) und bekommt dann hellere blaue Töne; ein gutes Ergebnis lieferte Schema IIa. Ebenso kann man das Kobaltoxyd steigern, man bekommt dann sehr kräftige, dunkelblaue, leuchtende und warme Töne, die weich stehen und gut decken, namentlich bei rauchigem Feuer. Die Tiefe der Farbe wird im Verhältnis zur Kobaltmenge nur wenig gesteigert.

Farbkörper II: $Al_2O_3 . 5\,CoO$.

aus 156 Gew.-Teilen Tonerdehydrat
372 „ Kobaltoxyd

gemischt oder aus einer Lösung von

664 Gew.-Teilen Aluminiumsulfat
1450 „ Kobaltnitrat,

mit 2500 Gew.-Teilen calc. Soda gefällt, zeichnet sich durch einen besonders tiefen, satten Ton in der Mischung

IIa. 36 Gew.-Teile Farbkörper II
36 „ Feldspat
28 „ Glasur wie bei Ia

aus, verläuft mit sehr zarten Rändern in die Glasur, und fand praktische Anwendung. Man kann in Mischung IIa auch den Farbkörper noch um ein Drittel auf Kosten des Feldspats vermehren, oder ein Drittel des Feldspats durch Kaolin ersetzen. Schema I und II sind für diesen Farbkörper nicht angebracht, da er infolge seines hohen Kobaltgehaltes zur Bildung von Trübungen, schwarzer metallisch glänzender Flecken neigt. Man kann dem aber leicht durch reichliche Zufuhr von Kaolin begegnen. Ganz klar und rein ist die Farbe in den beiden Mischungen

IIb.	132	Gew.-Teile	roher Zettlitzer Kaolin
	3	„	Fritte III
	10	„	Steinzeugglasur
	55	„	Farbkörper II.
IIc.	20	Gew.-Teile	roher Zettlitzer Kaolin
	25	„	Feldspat
	10	„	Steinzeugglasur
	25	„	Farbkörper II
	20	„	Sand.

Beide brauchen aber hohes und langes Feuer; sie wirkten am besten auf Porzellanmassen.

Eine besonders schöne feurige Farbe erhält man, wenn man den Farbkörper I anstatt mit Soda mit Dinatriumphosphat ausfällt und nach Schema I verarbeitet; Schema II ist nicht geprüft. Hier wirkt eine Steigerung auf 3 Äquivalente Kobaltoxyd sehr vorteilhaft auf die Tiefe des Tones.

Farbkörper III: $CoO \,.\, Al_2O_3 \,.\, ZnO$.

Man mischt ihn aus:

74,5	Gew.-Teilen	Kobaltoxyd
156,0	„	Tonerdehydrat
81,0	„	Zinkoxyd

oder fällt ihn aus einer Lösung von

664	Gew.-Teilen	Tonerdesulfat
290	„	Kobaltnitrat
287	„	krist. Zinksulfat

mit 1500 Gew.-Teilen calc. Soda. Dieser Farbkörper gibt hellere Töne als Nr. I. Als sehr gute Mischung für ein sehr helles Blau wurde bei Anwendung in grösserem Umfang folgende gefunden:

IIIa.	70	Gew.-Teile	roher Zettlitzer Kaolin
	15	„	geschlämmter Ton
	5	„	Farbkörper III
	10	„	Steinzeugglasur von der Formel:

$$\left.\begin{matrix} 0,3\,K_2O \\ 0,2\,PbO \\ 0,5\,BaO \end{matrix}\right\}\ 0,4\,Al_2O_3\ 4\,SiO_2$$

mit dem Versatz:

166,8	Gew.-Teile	Feldspat
25,8	„	roher Zettlitzer Kaolin
120,0	„	Sand
45,0	„	Mennige
98,5	„	Witherit.

Langes Feuer braucht die Mischung:

IIIb.	100	Gew.-Teile	Zettlitzer Kaolin
	20	„	Farbkörper III
	20	„	Glasur.

Schema I ist nicht geprüft.

Farbkörper IV. $5 CoO . ZnO . 6 Al_2O_3$.

Gemischt aus:

372	Gew.-Teilen	Kobaltoxyd
81	„	Zinkoxyd
936	„	Tonerdehydrat.

Dieser nach dem Spinelltypus gebaute Farbkörper hat sich sehr gut bewährt; er gibt ein sehr schönes, klares, weiches und gut deckendes Blau nach Schema II, I ist nicht geprüft. Hellere Töne erhält man in der gleichen Mischung mit

Farbkörper V. $2 CoO . 5 ZnO . 10 Al_2O_3$

aus:

149	Gew.-Teilen	Kobaltoxyd
405	„	Zinkoxyd
1560	„	Tonerdehydrat.

Farbkörper VI. $Al_2O_3 . CoO . SnO_2$

aus:

156	Gew.-Teilen	Tonerdehydrat
74	„	Kobaltoxyd
150	„	Zinnoxyd

gemischt, gibt nach Schema II hellere Töne als No. I. Die Aufhellung ist nicht auf die prozentische Verminderung des Kobaltoxyds, sondern auf die Zinnsäure zurückzuführen, denn es hat sich wiederholt gezeigt, dass eine Schwankung der Kobaltmengen, selbst in ziemlichem Umfange, in der Tiefe des Tones kaum zum Ausdruck kommt.

Farbkörper VII. $CoO . NiO . 2 Al_2O_3$

aus:

74	Gew.-Teilen	Kobaltoxyd
74	„	Nickeloxyd
312	„	Tonerdehydrat

gemischt, liefert nach Schema IIa eine blaugraue Farbe von guter Wirkung. Lässt man die Tonerde fort, so treten die bekannten schwarzen Flecken hervor, die auch in derselben Mischung der

Farbkörper VIII. $CoO \cdot SnO_2$

zeigte, während die Farbe sonst ein sehr angenehmes, etwas stumpfes Dunkelblau darstellte. Der Fehler verschwand aber in der Mischung

VIIIa.	42	Gew.-Teile	Farbkörper VIII
	8	„	Glasur wie bei Ia (S. 83)
	50	„	roher Zettlitzer Kaolin,

die im Vergleich mit Schema IIa wesentlich kaolinreicher ist. Beide Fälle sprechen dafür, dass die Tonerde den Ausscheidungen entgegengewirkt hat. Es ist seitdem wiederholt beobachtet worden, dass man die schwarzen Trübungen kobaltreicher Farben sehr sicher durch die Erhöhung des Kaolins bekämpfen kann.

Farbkörper IX. $ZnO \cdot 5\,CoO$.

Mischung:	81	Gew.-Teile	Zinkoxyd
	372	„	Kobaltoxyd.

Die Farbkörper aus Kobaltoxyd und Zinkoxyd liefern schöne, warme, gut deckende weiche Farben, die mit steigendem Kobaltoxyd im Ton immer voller werden; gleichzeitig tritt aber immer mehr die Neigung des Kobaltoxyds zur Bildung schwarzer metallisch glänzender Flecken hervor, die entweder auf einer Bildung von Kobaltoxyduloxyd oder von Kobaltkohlenoxyd beruhen. Die beiden Mischungen I und II sind daher für den Farbkörper nicht zu brauchen, doch ändert sich das sogleich, wenn man Kaolin hinzufügt, z. B. 100 Teile davon zu Schema II. Schema I wird brauchbar, wenn man die danach hergestellte Farbe mit einem Drittel ihres Gewichtes an U-Mischung verreibt.

B. Blaugrüne Farben.

Farbkörper X. $CoO \cdot Cr_2O_3$

aus:	74	Gew.-Teilen	Kobaltoxyd
	153	„	Chromoxyd,

wobei man sehr vorteilhaft das später genannte Schwefelgrün verwendet, gibt ein gutes, sehr beständiges, bei verschiedener Temperatur gleichbleibendes Blaugrün nach Schema IIa, die anderen beiden sind nicht geprüft.

Farbkörper XI. $CoO \cdot Cr_2O_3 \cdot ZnO$

aus:	74	Gew.-Teilen	Kobaltoxyd
	153	„	Chromoxyd
	81	„	Zinkoxyd,

gibt ein Blaugrün. Steigert man das Kobaltoxyd bis auf zwei und drei Äquivalente, während das Chromoxyd unverändert bleibt, so geht die Farbe immer mehr in Blau über, und unterdrückt den grünen Ton schliesslich ganz; verfährt man umgekehrt, so entstehen

gute grünblaue Töne. Gute blaugrüne Töne entstehen auch bei gleichzeitiger Steigerung von Kobalt- und Chromoxyd, die in den verschiedensten Mischungen nichts zu wünschen übrig liessen und von denen ein

Farbkörper XII. $ZnO . 3 Cr_2 O_3 . 3 CoO$

aus:	81	Gew.-Teilen	Zinkoxyd
	459	„	Chromoxyd
	223	„	Kobaltoxyd

gemischt, oder aus einer Lösung von

287	Gew.-Teilen	krist. Zinksulfat
870	„	„ Kobaltnitrat
3000	„	Chromalaun

mit 5000 Gew.-Teilen calc. Soda gefällt, eine praktisch verwertete Farbe nach Schema I lieferte. Tonerde anstatt Zinkoxyd macht die Farbe hart, sie braucht langes Feuer um angenehm zu wirken, in dem grösseren Ofen der Schule erwies sich

Farbkörper XIII. $Cr_2 O_3 . CoO . Al_2 O_3$

sowohl nach Schema I als auch in der Mischung

XIIIa.	40	Gew.-Teile	Zettlitzer Kaolin
	10	„	Glasur 42
	50	„	Farbkörper XIII

recht gut, und die letztere wurde dann auch in grösserem Masstabe verwertet. Man gewinnt den Farbkörper durch Vermischung von

153	Gew.-Teilen	Chromoxyd
74	„	Kobaltoxyd
156	„	Tonerdehydrat

oder durch Fällung einer Lösung von

1000	Gew.-Teilen	Chromalaun
290	„	Kobaltnitrat
665	„	Aluminiumsulfat

mit 2500 Gew.-Teilen calc. Soda.

C. Grüne Farben.

Das Chromoxyd ist befähigt, schon allein zu einer Unterglasurfarbe verarbeitet zu werden, da es infolge seines schweren Eingehens in Silikate vor der lösenden Wirkung der Glasur auch ohne Tonerde hinreichend geschützt ist. Ein sehr schönes leuchtendes Chromgrün stellt man in der Porzellanindustrie bekanntlich dadurch her, dass man feinst zerriebenes Kaliumbichromat innig mit Schwefelblume mengt und im Porzellanofen brennt. Je höher die Temperatur und je reduzierender die Flamme, umso schöner die Farbe. Wir verfuhren in der gleichen Weise zur Herstellung eines Schwefel-

grün, indem wir das Salz mit dem Schwefel im Verhältnis 3 : 1 mischten, das nach dem Brennen im Rundofen bei Segerkegel 9 entstandene grüne Pulver feinst zerrieben und durch reichliches Waschen von allen löslichen Salzen befreiten. Eine Untersuchung des Waschwassers ergab grosse Mengen Schwefelsäure; nach vollständiger Ausfällung derselben mit Baryumnitrat liess sich mit Bleinitrat kein Schwefelwasserstoff nachweisen. Die Reaktion zwischen beiden Stoffen war also nach der Gleichung verlaufen:

$$K_2Cr_2O_7 + S = K_2SO_4 + Cr_2O_3,$$

und nicht nach der anderen, auch möglichen

$$K_2Cr_2O_7 + 3S = K_2S + Cr_2O_3 + 2SO_2.$$

Das Schwefelgrün bildet gute Farben nach Schema I; ein „Stärkegrün“, auf gleichem Wege aus Kaliumbichromat und Stärke im Verhältnis 4 : 1 hergestellt, steht hinter dem ersten kaum zurück. Hier bildet der Kohlenstoff den reduzierenden Faktor nach der Gleichung:

$$K_2Cr_2O_7 + 2C = K_2CO_3 + Cr_2O_3 + CO.$$

Farbkörper XIV. $Cr_2O_3 . Al_2O_3$

aus: 153 Gew.-Teilen Chromoxyd
156 „ Tonerdehydrat

gibt in der Mischung

XIVa. 100 Gew.-Teile Zettlitzer Kaolin
10 „ Glasur
8 „ Farbkörper XIV

ein in der Praxis der Schule oft angewendetes Hellgrün. Diese Farbe, sowie die nach Schema II hergestellte, brauchten langes Feuer und wurden durch reduzierende Flamme günstig beeinflusst; bei Segerkegel 7 in der Muffel blieben sie hart. Eine zweite ebenfalls praktisch verwendete Mischung, die sich ausgezeichnet mit dem Pinsel legen lässt, besteht aus:

XIVb. 30 Gew.-Teilen Farbkörper XIV
5 „ Glasur wie bei Ia (S. 83)
1,5 „ Feldspat.

Mit weniger Tonerde im Körper lassen sich leichter weiche Farben erzielen, so gibt der

Farbkörper XV. $Al_2O_3 . 2Cr_2O_3$.

nach Schema I und II schon bei Segerkegel 7 in der Muffel ein reines Grün. Man gewinnt ihn durch Mischung von:

156 Gew.-Teilen Tonerdehydrat
306 „ Chromoxyd

oder durch Fällen einer Lösung von:

665 Gew.-Teilen Aluminiumsulfat
2000 „ Chromalaun

mit zwei Litern Ammoniak vom spezifischen Gewicht 0,925.

Magnesia oder Zinkoxyd mit Chromoxyd zu je einem Äquivalent zusammengestellt, täuschten die in diesen spinellartigen Farbkörper gesetzten Erwartungen, wenigstens gelang es im Rahmen der bei uns gebräuchlichen Mischungen nicht, zu befriedigenden Farben zu kommen. Mit Magnesia waren sie noch leidlich, mit Zinkoxyd aber traten bräunlich grüne, verschleierte, unbrauchbare Töne auf. Nickeloxyd dagegen wirkte recht gut; der

Farbkörper XVI. $Cr_2O_3 . NiO.$

aus: 153 Gew.-Teilen Chromoxyd
74 „ Nickeloxyd

bildet nach Schema IIa ein sehr gutes, sattes Dunkelgrün bei langem rauchigen Feuer, bei kurzem oxydierenden Feuer ein feines Olivengrün. Man kann auch das Nickeloxyd noch steigern und bekommt mit

Farbkörper XVII. $Cr_2O_3 . 4NiO$

in derselben Mischung ein schönes Dunkelgrün, das in dicker und dünner Lage gleichmässig gut deckt, während der

Farbkörper XVIII. $Cr_2O_3 . NiO . Al_2O_3$

auf unseren Porzellanmassen einen graugrünen Ton erzeugte.

Auch durch Manganoxyd kann der grüne Farbton des Chromoxyds, der nicht selten zu einer hässlichen Gelbstichigkeit neigt, vertieft und verschönt werden. In gleichen Äquivalenten angewendet, und in derselben Mischung wie die nickelhaltigen Farben gebrannt, resultiert bei kurzem oxydierenden Feuer ein gutes Dunkelbraun, bei langem, reduzierendem ein Dunkelgrün.

D. Braune Farben.

Mit den Farbkörpern

XIX. $Fe_2O_3 . Cr_2O_3$ und XX. $Fe_2O_3 . 2Cr_2O_3$

erzielte man mehr bräunliche bis bräunlichschwarze unansehnliche Töne. Hier wirkte das Zinkoxyd ausserordentlich günstig, indem es rötlichbraune Töne entstehen liess. Schon der

Farbkörper XXI. $Fe_2O_3 . ZnO . Cr_2O_3$

aus: 160 Gew.-Teilen Eisenoxyd
81 „ Zinkoxyd
153 „ Chromoxyd

bereitet, und nach Schema II verarbeitet, gibt in der Muffel ein gutes rötliches Braun, und der Ton steigert sich immer mehr zu einem hellen, leuchtenden Rotbraun, wenn man bis zu 5 Äquivalenten Zinkoxyd steigt und den so entstehenden

Farbkörper XXII. $Fe_2O_3 . Cr_2O_3 . 5ZnO$

mit U-Mischung verarbeitet und bei Segerkegel 7 im oxydierenden Feuer brennt. Es ist hierbei nicht gleichgültig, woher das Chromoxyd stammt; das beste Resultat wurde mit Schwefelgrün erzielt.

Tonerde hat keine besondere Wirkung auf den Farbton, macht die Farbe aber hart; Kobaltoxyd in dem

Farbkörper XXIII. $CoO \, . \, 2 Fe_2O_3 \, . \, 2 Cr_2O_3$

gibt ein nicht immer gleichmässiges Blauschwarz. Fügt man hier noch Tonerde bei, so neigt sich die Farbe mehr dem Grauschwarzen zu. Nach Schema I gibt sowohl dieser Farbkörper wie Nr. XIX und XX ganz gute schwärzliche Töne auf Porzellan.

Mit Eisenoxyd allein ohne Chromoxyd, aber unter Heranziehung von Tonerde, wurde versucht, ein möglichst rotes Braun bei Segerkegel 7 in der Muffel zu erzeugen. Die erste Bedingung ist ein scharf oxydierendes Feuer, worauf schon beim Verglühen des Farbkörpers zu achten ist, denn bereits hierbei kann der Ton in ein dunkles Braun umschlagen, das sich später nicht mehr beseitigen lässt. Dieser Bedingung kann man durch einen Luftstoss wohl genügen; weniger leicht aber erfüllt sich die zweite, die Auflösung des Eisens durch die Glasur zu verhüten. Bei dessen ausserordentlich leichter Silikatbildung ist nämlich selbst das Dreifache der sonst genügenden Tonerdemenge noch nicht ausreichend; und hat man es endlich soweit gebracht, dann ist der Farbkörper schon zu hart. Es war aber deutlich zu bemerken, dass die Tonerde das Eisen nicht nur vor der Auflösung schützte, sondern auch seinen roten Farbton bewahrte. Da die oft beobachtete schwärzliche Färbung von Eisenfarben auf Eisenoxyduloxydbildung beruht, so wäre zu folgern, dass die Tonerde aus irgend einem Grunde die Reduktion des Eisenoxyds verhindert. Danach könnte man in der gleichen Weise die günstige Wirkung der Tonerde in den kobalthaltigen Farben (S. 84, 85, 86) daraus erklären, dass sie die Bildung des schwarzen Kobaltoxyduloxyds verhindert. Übrigens ist es eine bekannte Erscheinung, dass die eisenhaltigen Tone umsomehr rot brennen, je reicher sie an Tonsubstanz sind; es sei hier nur als Beispiel der ungemein fette Helmstedter Ton angeführt, der selbst im Feuer des Rundofens seinen rotbraunen Ton nicht einbüsste. Ein Zusatz von 1 % Rutil wirkte auch günstig auf die Kräftigung der roten Farbe. Leider konnten die Versuche nicht zu Ende geführt werden.

II. Farben für Steinzeug bei Segerkegel 4.

Unter Benutzung der bereits geschilderten Glasuren für Segerkegel 4 (S. 75 und 76), und der im vorigen Abschnitt erläuterten Grundlagen, war es leicht, auch für Segerkegel 4 zu einer Anzahl brauchbarer Farben zu kommen, die allerdings noch keine praktische Verwendung gefunden haben. Indem man in dem bereits erwähnten Schlicker durch Verminderung des Kaolins und Vermehrung der Fritte und der Glasur die Schmelzbarkeit vergrösserte, entstand eine Backmischung, die allen Anforderungen entsprach und nach

Schema III aus 30 Gew.-Teilen rohem Zettlitzer Kaolin
5 „ Fritte III (S. 74)
15 „ Glasur
50 „ Farbkörper

zusammengesetzt war. In dieser bewährten sich folgende Farbkörper:

Nr. I. $CoO \,.\, Al_2O_3$
„ III. $CoO \,.\, Al_2O_3 \,.\, ZnO$
„ IX. $ZnO \,.\, 5\,CoO$
„ X. $CoO \,.\, Cr_2O_3$

Dieser Farbkörper steht auch gut in der Mischung:

Xa. 20 Gew.-Teile roher Zettlitzer Kaolin
25 „ Feldspat
10 „ Glasur
45 „ Farbkörper X

Schwefelgrün Cr_2O_3.
Nr. XV. $Al_2O_3 \,.\, 2\,Cr_2O_3$.
„ XVI. $Cr_2O_3 \,.\, NiO$.
„ XXII. $Fe_2O_3 \,.\, Cr_2O_3 \,.\, 5\,ZnO$.
„ XXIII. $CoO \,.\, 2\,Fe_2O_3 \,.\, 2\,Cr_2O_3$.

Dieser Farbkörper gibt ein tiefes glänzendes Schwarz. In derselben Weise gemischt wie Xa ist der Ton schwärzlich braun.

Nr. XXIV. $CoO \,.\, Al_2O_3 \,.\, 0{,}3\,NiO$.
„ XXV. $SnO_2 \,.\, 5\,CoO$.

VI. Teil.

Lauf- und Mattglasuren für Steinzeug, mit besonderer Anwendung von Ton, Bimsand, Basalt, Toneisenstein und Magneteisenerz.

Vor einigen Jahren erfreuten sich die Laufglasuren einer besonderen Beliebtheit, und das grès flammé der Franzosen, durch de la Herche, Dalpayrat und andere meisterhaft ausgeführt, sowie die geflossenen Glasuren der Firma Mutz in Altona und Scharvogel in München wurden stark begehrt. Nun aber ist die Nachfrage sehr flau geworden, und der Grund dafür liegt in dem billigen Massenangebot von Dutzendware, das nun auch den besseren Arbeiten den Reiz des Besonderen raubte. Dies Schicksal ist freilich unverdient, denn es gibt kaum eine Glasurtechnik, die so sehr geeignet wäre, in der Hand eines geschmackvollen und feinsinnigen Künstlers eine schier endlose Fülle reizvoller, überraschender und künstlerisch wertvoller Keramiken zu liefern, als gerade die Laufglasuren, vermöge der Leichtigkeit ihrer Handhabung und der Freiheit ihrer Bewegung.

Wenn ich es im folgendem unternehme, über dieses Kapitel zu schreiben, so beabsichtige ich damit nicht, einen Beitrag zu den gewöhnlichen Laufglasuren zu liefern, sondern es kommt mir darauf an, zu zeigen, dass man mit gewissen, in der Praxis meines Wissens noch nicht verwendeten Rohmaterialien, und auf bestimmten Massen und Scherben, neue eigenartige und sichere Wirkungen erzielen kann, die, trotzdem sie bei einer verhältnismässig niedrigen Temperatur (Segerkegel 4 oder 2) gebrannt werden, doch den äusseren Charakter des echten Hartsteinzeugs vollkommen wahren.

A. Herstellung der Laufglasuren.

1. Laufglasuren aus einer Fritte und einer weissen Rohglasur.

Die Herstellung der Laufglasuren beruht darauf, dass man eine Rohglasur, die auf dem Scherben gut hält — in unserem Falle also eine Steinzeugglasur — mit soviel einer leicht schmelzbaren Fritte versetzt, bis die Mischung die gehörige Flüssigkeit besitzt. Gewöhnlich fügt man auch noch 5 bis 15 % Rutil hinzu: dieser wirkt nach unseren wiederholten Erfahrungen in hohem Masse verflüssigend, unterstützt also die Wirkung der Fritte, er macht ferner die Glasur undurchsichtig, die Farben stumpfer und gedeckter, und verleiht ihnen endlich durch die kristallinischen Ausscheidungen Abwechslung und Reiz. Von den verschiedenen im Laufe der Zeit hergestellten Glasuren dieser Art sei eine näher beschrieben. Hierzu wurde angewendet Fritte III (S. 74) und eine

Rohglasur I. $\left.\begin{matrix} 0{,}30\,K_2O \\ 0{,}25\,MgO \\ 0{,}45\,CaO \end{matrix}\right\}\ 0{,}4\,Al_2O_3\ 3.3\,SiO_2$,

die aus folgenden Bestandteilen zusammengesetzt ist:

166,8	Gew.-Teilen	Feldspat
21,0	„	Magnesit
45,0	„	Marmor
25,8	„	roher Zettlitzer Kaolin
78,0	„	Sand.

Es zeigte sich, dass die Mischung

D.	50	Teile	Fritte III
	50	„	Rohglasur I

bei Segerkegel 4 den gewünschten Grad von Flüssigkeit besass. Die Versuche, die zu der Mischung führten, benutzte man gleichzeitig, um den verflüssigenden Einfluss der Frittemenge genauer kennen zu lernen. Zu dem Zweck wurden aus der Fritte einerseits, aus der Rohglasur andererseits, und aus den folgenden Mischungen Tetraeder in der bekannten Form der Segerkegel hergestellt und

mit geprüften Kegeln in die Muffel gebracht; von den letzteren konnten infolge der Raumverhältnisse leider nur drei zur Anwendung kommen. Notiert wurde die Zeit des Fallens der Kegel. Alles weitere ersieht man aus der folgenden Tabelle, in der das Beobachtete unterstrichen, alles andere interpoliert ist.

Tabelle XXXII.

Temperatur	Es schmilzt Segerkegel	Zeit	Gleichzeitig schmilzt	Zusammensetzung	
				Fritte III	Rohglasur I
920°	011	10 Uhr 35	Fritte III		
950	010	10 Uhr 50			
970	09	11 Uhr 1			
990	08	11 Uhr 12			
1010	07	11 Uhr 23	Mischung IV	62	38
1030	06	11 Uhr 33	Mischung III	52	48
			Mischung II	45	55
1050	05	11 Uhr 43			
1070	04	11 Uhr 52			
1090	03	12 Uhr 0	Mischung I	35	65
1110	02	12 Uhr 8			
1130	01	12 Uhr 15			
1150	1	12 Uhr 23			
1170	2	12 Uhr 32			
1190	3	12 Uhr 41			
1210°	4	12 Uhr 50	Rohglasur I		

Schon 35 %, also rund ein Drittel an Fritte erniedrigen den Schmelzpunkt der Grundglasur um 6 Kegel oder um 120° von 1210 bis auf 1090°; eine Steigerung der Fritte um 10 % vermindert ihn um weitere drei Kegel oder um 60°. Eine weitere Steigerung der Fritte hat zunächst keinen, wenigstens hier nicht merklichen Einfluss — auf einem Gefäss kann es ja anders sein; und in der vierten Probe bewirken 10 % Fritte mehr nur eine Steigerung der Flüssigkeit um einen einzigen Kegel, d. h. um 20°. Man kann hieraus den Schluss ziehen, dass die Wirkung der Fritte nur bis zu einer gewissen Grenze stark hervortritt, bei unserem Versuch bis zu 45 %, von dort ab sich verlangsamt, und dass dann eine unverhältnismässige Menge an Fritte zur weiteren Steigerung der Flüssigkeit notwendig ist. Wenn es erlaubt ist, das Ergebnis zu verallgemeinern, so ergibt sich für praktische Arbeiten, dass man

verschwenderisch ist, wenn man durch Hochsteigerung einer Fritte zu einer flüssigen Glasur kommen will, und dass man in solchem Falle richtiger tut, die Grundglasur zu verändern.

Führt man in die Glasur D Rutil ein, so kann man die Menge der Fritte vermindern, und es ist schon eine Mischung von

43	Teilen	Fritte III (S. 74)
52	„	Rohglasur I (S. 92)
5	„	norweg. Rutil

flüssig genug.

2. Laufglasuren aus einer Fritte und einer Rohglasur mit Ton und Bimsand.

In der letzten Mischung kommt es auf reine weisse Rohstoffe nicht an, da die Glasur zum Gebrauch ja doch mit färbenden Oxyden versetzt wird, und überdies den eisenführenden Rutil enthält. Wenn man also an die Stelle des Kaolins Ton, an die Stelle des Feldspats Bimsand in die Rohglasur I einführte, so tat das der Glasur keinen Abbruch, aber man hatte den Vorteil grösserer Billigkeit. Als zweiter und gar nicht unwesentlicher Gewinn hat sich dabei eine Ersparnis an Fritte herausgestellt. Um bei Einführung der beiden genannten Materialien die stöchiometrische Zusammensetzung der Rohglasur nicht zu verschieben, war es nötig, sie in eine Glasformel zu bringen. Auf S. 71 bis 72 ist bereits gezeigt worden, wie man zu dem Zweck mit dem Bimsand verfährt, wenn dessen Gesamtanalyse vorhanden ist. An dieser Stelle möchte ich zeigen, wie man einen Ton, von dem ja gewöhnlich nur die rationelle Analyse vorliegt, in dem gleichen Sinne umrechnet. Der zur Verwendung bestimmte fette geschlämmte Ton von Lämmersbach hatte die Zusammensetzung:

64,41	%	Tonsubstanz
2,90	„	Feldspat
32,69	„	Sand.

Man berechnet zunächst, wieviel Kieselsäure, Tonerde und Wasser in der Tonsubstanz enthalten sind, wozu man sich der Formel des Kaolins, der ja reinste Tonsubstanz darstellt,

$$\begin{aligned} 2\,SiO_2 &= 120 \\ Al_2O_3 &= 102 \\ 2\,H_2O &= 36 \\ \hline &\ 258 \end{aligned}$$

bedient. Man findet: 64,41 Tonsubstanz enthalten

29,98	Kieselsäure
25,43	Tonerde
9,00	Wasser
64,41.	

In der gleichen Weise berechnet man aus der Formel des Feldspats (S. 72), dass in 2,90 Feldspat enthalten sind:

0,49	Kali
0,53	Tonerde
1,88	Kieselsäure
2,90.	

Man addiert nun die Kieselsäure aus der Tonsubstanz = 29,98 und aus dem Feldspat = 1,88 und den Sand = 32,69, ebenso die Tonerde aus der Tonsubstanz = 25,43 und aus dem Feldspat = 0,53 zusammen, lässt das Wasser als belanglos und das Kali als zu gering weg und findet in

100 Teilen Ton 64,55 Kieselsäure und 25,96 Tonerde.

Nach der auf Seite 71 und 72 gegebenen Anleitung würde man daraus die Moleküle der Kieselsäure und der Tonerde berechnen; hier aber ersieht man ohne weiteres die zwar nicht ganz genaue, aber für unsere Zwecke hinreichende Formel

$$0{,}25\,Al_2O_3 \,.\, SiO_2 = 100.$$

In der Formel der Rohglasur

$$\left.\begin{matrix} 0{,}30\,K_2O \\ 0{,}25\,MgO \\ 0{,}45\,CaO \end{matrix}\right\}\, 0{,}4\,Al_2O_3 \,.\, 3{,}3\,SiO_2$$

sollen nun 0,3 Äquivalente Kali aus Bimsand von Höhr mit der Formel (S. 72):

$$RO \,.\, 0{,}5\,Al_2O_3\,3{,}4\,SiO_2 = 340$$

und 0,25 Äquivalente Tonerde aus dem Ton entnommen werden. Danach verändert sich die Formel der Rohglasur in

$$\left.\begin{matrix} 0{,}30\,RO \\ 0{,}25\,MgO \\ 0{,}45\,CaO \end{matrix}\right\}\, 0{,}4\,Al_2O_3\,3{,}3\,SiO_2$$

und daraus berechnet sich in bekannter Weise der Versatz für eine Grundglasur mit Ton und Bimsand, die kurz als Grundglasur II bezeichnet werden möge, zu:

102	Gew.-Teilen	Bimsand
21	„	Magnesit
45	„	Marmor
100	„	fetter geschlämmter Ton
76,8	„	Sand.

Für diese waren nun aber die obigen 43 % Fritte III zu viel, die Flüssigkeit wurde zu gross und daher erfuhr die Fritte eine Verminderung auf 35 %, entsprechend der Mischung I in Tabelle XXXII, und es ergab sich eine Laufglasur mit Ton und Bimsand:

DR:	35	Teile	Fritte III
	60	„	Grundglasur II
	5	„	Rutil.

Beide Glasuren, sowohl D wie DR, nehmen färbende Oxyde vorzüglich auf; über ihre besondere Anwendung sei im folgenden berichtet.

B. Anwendung der Laufglasuren.

3. Die Laufglasur D aus Fritte und weisser Rohglasur (S. 92) mit färbenden Oxyden.

Man erzielt ein schönes rotlüstrierendes Malachitgrün, wenn man 3 % Kupferoxyd hinzufügt. Die Glasur ist zähe genug, um, in geeigneter Weise am Hals eines Gefässes aufgetragen, in dicken Tropfen abzulaufen und in dieser Form auf dem Bauch des Gefässes zu erstarren; man kann, wenn man den Scherben von oben her nur halb mit der Glasur bedeckt und die untere Hälfte entweder durch Farblösungen tönt, oder einen sonstwie gefärbten Scherben anwendet, den man dann mit der ungefärbten Glasur D weiss glasiert, sehr gute Wirkungen hervorbringen. Einige bewährte Farblösungen zum Tönen des Scherbens enthalten:

1. 1 %	CoO	in gelöster Form	= 40 g	cr. $Co(NO_3)_2$	in 1 l	Wasser.	Scherben:	dunkelblau
2. 0,5	„	„ „	= 20 „	„ „	„ 1 „	„	„	hellblau
3. 0,25	„	„ „	= 10 „	„ „	„ 1 „	„	„	sehr hellbl.
4. 0,1	„	„ „	= 4 „	„ „	„ 1 „	„	„	grau
5. 3 %	NiO	„ „	=120 „	„ $Ni(NO_3)_2$	„ 1 „	„	„	dklbraun
6. 2	„	„ „	= 80 „	„ „	„ 1 „	„	„	hellbraun
7. 1	„	„ „	= 40 „	„ „	„ 1 „	„	„	sehr hellbr.
8. 1 %	Cr_2O_3	„ „	= 65 „	Chromalaun	„ 1 „	„	„	gelbl. grün
9. 0,5	„	„ „	= 32,5	„	„ 1 „	„	„	hellgelb „

Zu Nr. 8 und 9 ist zu bemerken, dass die Menge des Chromalauns nicht gesteigert werden kann, indem sonst durch das zerfallende Sulfat im Scherben Blasen entstehen. Ist die Masse stark eisenhaltig, so entstehen keine grünen, sondern braune, dem Nickeloxyd ähnliche Töne, die aber nicht deren Zartheit besitzen. In obige Bäder taucht man die verglühten Gefässe einfach ein und lässt sie trocknen, worauf man mit dem Pinsel die Glasur anträgt; will man die Gefässe in eine Glasur tauchen, so müssen sie vorher verglüht werden, um die löslichen Salze in unlösliche Oxyde zu verwandeln.

Die schönste Wirkung erzielte man auf einem von der Firma Fuchs in Ransbach freundlich zur Verfügung gestellten roten Westerwälder Ton. Auf diesem Scherben kam das Grün mit dunkleren, vom aufgelösten Eisen herrührenden Tönen untermischt zu einer ausserordentlich feinen Entwicklung, und die teils ganz, teils nur halb von der Glasur bedeckten Gefässe — in letzterem Fall blieb der untere Teil völlig glasurlos — erreichten sowohl in ihrem Charakter wie in ihrer Farbenschönheit gewisse Steinzeugarbeiten der Japaner.

Ein Türkisblau erzielt man durch Zusatz von 3 % Kupferoxyd und 0,3 % Kobaltoxyd. Diese Glasur ist von einer sehr zarten

Farbe, die sich ebensowohl auf gewöhnlichem Ton als auch auf rotem Ton, sowohl denselben ganz als nur halb bedeckend, in dicken Tropfen ablaufend und erstarrend, verwenden lässt.

Ein rötliches Grau bekommt man mit 1 % Chromoxyd und 5 % Antimonoxyd, während man mit der gleichen Menge Antimonoxyd allein ein opakes Weiss erhält, welches sich vielseitig brauchbar erweist, entweder zum Ausgiessen des Innern von Gefässen oder zum Auftragen auf die Aussenseite in Verbindung mit anderen gefärbten Glasuren, die man unmittelbar an das Weiss mit den Pinsel anträgt. Das Weiss erstarrt dann in dicken, schmaddrigen, mattglänzenden Strähnen, die an ihrem untersten Rande etwas wulstig aufgeworfen sind und durch den abwechselnd dickeren oder dünneren farbigen Streifen wirkungsvoll abgeschlossen werden. Die dekorative Wirkung erfährt durch einen passenden Scherben eine Steigerung. Besonders gut bewährte sich eine Masse aus 60 Teilen Ton und 40 Teilen Trachyt, die mit ihrer mattschimmernden Schmelzschicht, welche an eine dünne Salzglasur erinnert, den Steinzeugcharakter in der vorteilhaftesten Weise hervorhebt. Die Masse erinnert ein wenig an die alten braunen Raerener Gefässe, auch an englisches Steinzeug klingt sie an. Man kann mit der weissen Glasur und der braunen Masse ähnliche Effekte erreichen, wie ich sie in einer Sammlung in Leyden an einigen japanischen Gefässen bewundern konnte, die ich allerdings von vornherein nicht beabsichtigt hatte nachzuahmen. Eine zweite, hier ebenfalls sehr gut brauchbare Masse ist Masse 91 (S. 40) aus Ton und Bimsand.

Einen sehr schönen Erfolg auf rotem Ton erzielt man mit 6 bis 10 % Eisenoxyd. Man bekommt dann einen schwarzen Farbton, der durch den Scherben hervorgebracht wird, und der durch die darüberliegende glänzende Glasur in feinster Weise gehoben wird. Es kommt aber auch vor, dass sich grünliche und blaue Zeichnungen zeigen oder dass, besonders auf wagerechten Flächen, ein weissgesprenkeltes Grün oder ein grüngesprenkeltes Rot auftritt.

Ein mattes kristallinisches Grün erreicht man mit 5 % Nickeloxyd, ein mattes Blauschwarz mit 4 % Kupferoxyd, 4 % Braunstein, 4 % Kobaltoxyd. Von diesen liefert das erstere mit einer passend getönten glänzenden Glasur wirkungsvolle Gegensätze, das letztere ruft namentlich auf rotem Ton, wie auf Trachytmasse sehr intime Wirkungen hervor.

Die letzte Glasur mit 10 % Braunstein und 4 % Eisenoxyd ist dagegen glänzend und leuchtend, ein prachtvolles Rotbraun, das durch braune Streifungen eine reizvolle Abwechslung erfährt.

Ausser mit der Fritte III wurden mehrfach Versuche mit den beiden Segerfritten I und II angestellt, von ihnen aber im allgemeinen nur Nr. I brauchbar gefunden. Die Zusammensetzung der betreffenden Glasuren war durchschnittlich:

40	bis	50	Teile	Fritte I
60	„	50	„	Steinzeugglasur
5	„	10	„	Rutil.

Einmal hat sich auch Fritte II bewährt, die Mischung hat folgende Bestandteile:

23	Teile	Feldspat	= 50 Teile Grundglasur.
8	„	Marmor	
5	„	Witherit	
5	„	roh. Zettl. Kaolin	
9	„	Sand	
45	„	Fritte II	
5	„	Rutil.	

4. Die Laufglasur DR aus Fritte und ton- und bimsandhaltiger Rohglasur (S. 95) mit Toneisenstein, Magneteisenerz und Basalt zu matten Glasuren verarbeitet.

Bekanntlich kann das Eisenoxydul die allerverschiedensten Färbungen liefern. Diesem Umstande verdankt z. B. der sogenannte „Grünstein“, in der Hauptsache ein Diabas mit durchschnittlich 12,5 % Eisenoxydul und Eisenoxyd[1]), seine Anwendung zur Herstellung der „Grünsteinglasuren“, die sich durch ihre sehr verschiedenartigen und sehr angenehme Färbungen auszeichnen. Ich habe versucht, mit eisenoxydulhaltigen Rohmaterialien des Westerwaldes ähnliche Ergebnisse zu erzielen; darüber sei im folgenden berichtet.

Diabas kommt zwar in der Nähe von Höhr und im Hohen Westerwald vor; zwischen Lahr und Weilburg[2]) treten zwei Züge davon auf, ebenso am Nellenköpfchen[3]) in der Nähe der Festung Ehrenbreitstein, am Kelterhause unweit Urbar a. Rh. und im Mallerbachtale, ebenfalls in der Nähe von Urbar. Doch finden sich da überall nur geringe Mengen, und so sah ich von diesem Material ab. Dagegen bot sich nun der massenhaft vorkommende Feldspatbasalt, von dem Credner a. a. O. die Analyse eines typischen Gesteins von Linz a. Rh. mitteilt: darin sind 13,3 % Eisenoxydul und Eisenoxyd enthalten, die sowohl dem stets vorhandenen Magneteisen als auch dem Augit entstammen. Nach Kosman[4]) enthält der Basalt der Dornburg (im Hohen Westerwald) 3,215 % Magneteisenerz. An den Basalt schliesst sich für unsere Versuche als zweites vulkanisches Gestein der Trachyt, nach Credner mit 6 % Eisenoxyd und Eisenoxydul im Mittel, ferner der Toneisenstein (S. 4) und endlich das Magneteisenerz an.

Die genannten Stoffe wurden in die Glasur DR in der Weise eingeführt, dass gewisse Teile der Grundglasur von ihnen ersetzt

---

[1]) Credner, Geologie, 1897, S. 84.
[2]) „Erläuterungen,“ Blatt Mengerskirchen, S. 11.
[3]) „Erläuterungen,“ Blatt Coblenz, S. 21.
[4]) „Erläuterungen,“ Blatt Mengerskirchen, S. 13.

wurden. Nach einigen Versuchen ergaben sich folgende Mischungen als flüssig genug:

a) 45 Teile Fritte III (S. 74)
20 „ Grundglasur II (S. 95)
30 „ Toneisenstein
5 „ Rutil

b) 45 Teile Fritte III
10 „ Grundglasur II
40 „ Basalt
5 „ Rutil

c) 35 Teile Fritte III
15 „ Grundglasur II
40 „ Basalt
10 „ Rutil

d) 45 Teile Fritte III
25 „ Grundglasur II
25 „ Magneteisenerz
5 „ Rutil.

Es sind dunkelbraune kristallinische Glasuren, die mit anderen gefärbten Glasuren passend zusammengestellt, sehr brauchbar sind. Der Trachyt erwies sich nicht als brauchbar; der Toneisenstein gab die beste Glasur; einige neue Proben mit diesem führten dann auch noch zu einer günstigeren Mischung, die ich kurz als

Toneisensteinglasur

45 Teile Fritte III
10 „ Grundglasur II
37 „ Toneisenstein
8 „ Rutil

bezeichnen will. Es ist eine glänzende Glasur von dunkel- bis hellbrauner Farbe mit matten kristallinischen Ausscheidungen, die im Verein mit der angenehmen Farbe den Gefässen ein lebhaftes und reizvolles Aussehen geben.

Eine zweite Versuchsreihe wurde in der Weise ausgeführt, dass die durch 10 % Fritte flüssiger gemachte Glasur DR mit steigenden Mengen Magneteisenerz versetzt wurde. Man fand eine Mischung, die kurz als

Magneteisenerzglasur I

100 Teile Glasur DR
10 „ Fritte III
20 „ Magneteisenerz

bezeichnet sei, und die ebenfalls eine braune, kristallinische, matte und ziemlich zähe Glasur darstellt, mit dem derben und kräftigen Aussehen, die in dem Charakter des Steinzeugs liegt. Besonders günstig wirkte die Einführung von färbenden Oxyden in diese

Mischung. Fügt man 6 Teile Braunstein zu 100 Teilen Magneteisenerzglasur I hinzu, so erhält man eine glänzende, grünlich dunkelbraune Glasur mit Rutilausscheidungen, die namentlich in Verbindung mit dem sofort zu erwähnenden Schimmelgrün, aber auch unter anderen Verhältnissen von vorzüglicher Wirkung ist. Eine matte gelbbraune, scheckige, etwas zähe Glasur erhält man mit 3 Teilen Nickeloxyd, die sowohl allein, als auch im Zusammenfliessen mit anderen farbigen Glasuren kräftig und gediegen wirkt und mir nie versagt hat. 3 Teile Kupferoxyd geben eine matte rotbraune, leicht lüstrierende Glasur. Die beste Glasur aber entsteht durch eine Häufung von Nickeloxyd:

matte schimmelgrüne Glasur

100	Teile	Glasur DR
30	„	Fritte III
20	„	Magneteisenerz
20	„	Nickeloxyd.

Es ist eine ganz matte, nicht mehr ablaufende, aber doch glatte Glasur von schimmelgrüner Farbe, die den Gefässen einen vollendet steinigen Charakter gibt, wie man ihn für Steinzeug nicht besser denken kann.

Eine dritte Versuchsreihe hat gezeigt, dass man mit der Grundglasur II (S. 95) allein ähnliche Glasuren erzielt, wenn man eine ausreichende Menge Fritte hinzugibt. Als günstig erwies sich die Mischung:

65	Teile	Grundglasur II
20	„	Fritte III
15	„	Magneteisenerz,

die mit 3 Teilen Nickeloxyd eine feine mattgelbe, mit 3 Teilen Kupferoxyd und 0,5 Teilen Kobaltoxyd zusammen eine rötlich metallische, mattglänzende und lüstrierende, mit 6 Teilen Braunstein eine feine rotbraune, und mit 1 Teil Chromoxyd eine stumpfe grüne Glasur lieferte. In den beiden letzten Glasuren war die Fritte III auf 25 Teile erhöht.

5. Glänzende und matte Basaltglasuren mit bleihaltiger Fritte.

Für den Basalt hat sich am besten eine bleihaltige Fritte bewährt, die ich der Freundlichkeit des Herrn Direktor Dr. Pukall in Bunzlau verdanke. Sie hat die Formel:

$$\text{Fritte IV}\quad \left.\begin{matrix} 0{,}5\,PbO \\ 0{,}1\,BaO \\ 0{,}1\,CaO \\ 0{,}3\,K_2O \end{matrix}\right\}\ 0{,}1\,Al_2O_3\ \left\{\begin{matrix} 2{,}7\,SiO_2 \\ \\ 0{,}3\,B_2O_3 \end{matrix}\right.$$

und wird hergestellt aus:

114,15	Gew.-Teilen	Mennige
19,70	„	Witherit
10,00	„	Marmor
55,60	„	Feldspat
126,00	„	Sand
37,20	„	krist. Borsäure
40,40	„	Kalisalpeter.

Man mischte sie mit einer Rohglasur von der Formel:

$$\text{Rohglasur III: } \left.\begin{matrix} 0{,}2\,K_2O \\ 0{,}6\,CaO \\ 0{,}2\,BaO \end{matrix}\right\} 0{,}45\,Al_2O_3\,3{,}0\,SiO_2,$$

die man aus

111,2	Gew.-Teilen	Feldspat
60,0	„	Marmor
39,4	„	Witherit
64,5	„	roher Zettlitzer Kaolin
78,0	„	Sand

gewann. Eine Mischung, die ich kurz als

Basaltglasur I

40	Teile	Rohglasur III
60	„	Fritte IV
50	„	Basalt
5	„	Rutil

bezeichnen will, gibt schon an und für sich vollkommen brauchbare, blau und blaugrün gescheckte Glasuren. Die Wirkung des Eisenoxyduls tritt deutlich hervor, sie lässt sich aber in ganz unerwarteter Weise durch Farboxyde steigern. Man bekommt beim Hinzufügen von

6	Teilen	Braunstein eine rot- und gelbfleckige Glasur,
3	„	Nickeloxyd eine blaugelbe Glasur,
3	„	Kupferoxyd eine gelbgrüne Glasur,
1	„	Chromoxyd u. 6 Tln. Eisenoxyd eine matte rotbrauneGlasur,
1	„	Chromoxyd u. 5 Tln. Nickeloxyd eine matte blaue Glasur.

Sämtliche Glasuren zeichnen sich durch ihre ruhigen Töne aus; am besten ist wieder die Nickelglasur, die eine aus blauen, blaugrünen und roten Farbtönen gemischten Grund gibt, über den sich stellenweise ein zarter gelber Schleier zieht.

Es ist bemerkenswert, dass in allen diesen Proben so häufig das Nickeloxyd gerade die besten Wirkungen hervorgebracht hat, während es sonst nicht zu den günstigsten Farboxyden gerechnet wird.

6. Glänzende und matte Basaltglasuren mit einem roten Ton als Rohglasur.

An die Stelle der Grundglasur setzten wir endlich noch einen roten Ton aus der Hahnschen Grube bei Bendorf, der nicht weiter untersucht wurde, und eine eisenhaltige Glasur mit der Formel:

Glasur IV. $\left.\begin{matrix} 0{,}3\,FeO \\ 0{,}2\,MgO \\ 0{,}1\,CaO \\ 0{,}4\,K_2O \end{matrix}\right\} 0{,}6\,Al_2O_3\; 9{,}4\,SiO_2$.

Diese Glasur wird aus folgenden Bestandteilen gemischt:

222,4	Gew.-Teile	Feldspat
51,6	„	roher Zettlitzer Kaolin
396,0	„	Sand
24,0	„	Eisenoxyd
16,8	„	Magnesit
10,0	„	Marmor.

Ausreichend flüssig waren die Mischungen:

f)	25	Teile	Glasur IV
	75	„	Fritte IV (S. 100)
	25	„	Basalt
	5	„	Rutil.
g)	25	Teile	roter Ton
	75	„	Fritte IV
	25	„	Basalt
	5	„	Rutil.

Beide werden mit färbenden Oxyden versehen und es ergeben sich sehr eigentümliche Wirkungen. Indem sich nämlich im allgemeinen die Neigung zu grossfleckigen, ziemlich scharf umrissenen Ausscheidungen zeigt, wird täuschend der Charakter gewisser Gesteine, z. B. des Porphyrs und des Granits im geschliffenen und polierten Zustande hervorgerufen. Im einzelnen sind die Ergebnisse folgende:

100 Teile Glasur f mit

6 Teilen Braunstein: dunkelbraun, matt glänzend, nicht ablaufend,
3 „ Nickeloxyd: rötlich braun,
3 „ Kupferoxyd: grün, mit roten, stumpfen, metallisch glänzenden Ausscheidungen.

100 Teile Glasur g mit

0,5 Teilen Kobaltoxyd: scheckige Glasur von dunkler Grundfarbe mit hellbraunen und blauen Flecken,
3 „ Kupferoxyd: } grün, mit blauen und roten, stumpfen,
0,3 „ Kobaltoxyd: } metallischen Ausscheidungen,
10 „ Eisenoxyd: dunkelbraun mit schwarzen, metallisch glänzenden Häutchen über der Glasur,
10 „ Braunstein: dunkelschwarzbraun mit hellen braunen Flecken,

10 Teilen Braunstein: } matte, fast schwarze Glasur mit helleren
4 „ Eisenoxyd: } Flecken,
5 „ Antimonoxyd: sehr scheckige, farbige Glasur mit gelben, blauen, braunen, roten Flecken.

C. Lauf- und Mattglasuren für Segerkegel 2.

Es gelang mit leichter Mühe, die vorbeschriebenen Glasuren auch der Temperatur des Segerkegels 2 anzupassen. Eine Mischung von

50 Teilen Rohglasur A (S. 70)
50 „ Segerfritte I (S. 45)

war ausreichend flüssig und gab mit Farboxyden Glasuren, die den bei der Reihe D geschilderten nicht nachstanden. Ferner ergab sich eine

Basaltglasur II

40 Teile Rohglasur A
60 „ Fritte IV
50 „ Basalt
10 „ Rutil

und eine

Magneteisenerzglasur II

50 Teile Rohglasur A
50 „ Fritte I
20 „ Magneteisenerz
10 „ Rutil,

die vollkommen den Charakter fertiger Grünsteinglasuren hatten und sich durch bezw. 3 % Nickeloxyd, 3 % Kupferoxyd, 6 % Braunstein zu noch feineren Wirkungen steigern liessen.

Aus dem VI. Teil lässt sich als Ergebnis von praktischem Wert folgendes ausziehen:

1. Man kann mit Basalt in passenden Mischungen dieselben Glasurwirkungen erreichen, wie mit dem sogenannten Grünstein.
2. Bimsand und arisser Ton lassen sich mit Vorteil in die Grundglasur solcher Laufglasuren einführen, bei denen es auf eisenfreie Materialien nicht ankommt.
3. Magneteisenerz ist sehr geeignet zur Erzeugung wirkungsvoller Glasuren mit matter Oberfläche.
4. Toneisenstein ist schon für sich allein geeignet, in passender Mischung farbige Laufglasuren von guter Wirkung zu erzeugen.
5. Roter Ton lässt sich vorteilhaft an Stelle der Grundglasur in Laufglasuren einführen und erzeugt buntscheckige Glasuren.

VII. Teil.

Die Fehler der blauen Smalte im Salzfeuer und die Mittel zu ihrer Verhütung.

Die blaue Smalte, die zur Verzierung der Steinzeugware des Westerwaldes eine ausgedehnte Anwendung findet, zeigt nach dem Brennen einige Fehler, die, abgesehen von Härten und Flecken infolge einer falschen Zusammensetzung des Glases, auf das in den Ofen geworfene Salz zurückzuführen sind. Diese sollen zuerst besprochen werden, was am einfachsten an der Hand des Fabrikationsganges geschehen kann.

Die Smalte wird auf dem lufttrocknen Gefäss aufgetragen und dann wird die Ware in einem Brande im sogenannten Salz- oder Kannenofen fertig gemacht. Ein solcher Ofen, von der in Höhr gebräuchlichen Grösse, hat im Innern eine rechteckige Grundfläche von 7,5 $\times$ 2,75 m und eine Höhe von 2,25 m. Die Feuerung befindet sich an einer der beiden Schmalseiten unter dem Boden, die Flamme tritt durch drei Gänge in der Ofensohle mit je 16 Löchern in den Brennraum ein, umspült den Einsatz und entweicht nach oben durch Löcher an den Längsseiten; von diesen sind 10 und an einer Breitseite eins vorhanden. An der anderen Schmalseite besitzt der Ofen eine Tür zum Ein- und Austragen der Gegenstände; diese wird beim Brennen bis auf ein Schauloch zugemauert. Das Einwerfen von Salz durch die oberen Löcher erfolgt dann, wenn der Einsatz bis zu einer aus der Erfahrung bekannten Höhe zusammengeschrumpft ist, oder es werden Probescherben herausgezogen und gesalzen. Die Flammen schlagen dann in hoher Garbe aus den oberen Löchern heraus. Nun wird auf beiden Seiten der Reihe nach die bekannte Menge Salz in den Ofen geworfen; bei der hohen Temperatur (sie liegt zwischen Segerkegel 3 und 4, entspricht also schätzungsweise 1220°) verdampft ein Teil des Salzes sofort und erhebt sich als eine mächtige weisse Wolke, die den Ofen und die nächste Umgebung weithin einhüllt. Ein anderer Teil davon tritt mit dem aus dem Holz entstehenden Wasserdampf in Reaktion nach der Gleichung

$$2\,NaCl + H_2O = Na_2O + 2\,HCl.$$

Das Natron tritt mit der Kieselsäure und der Tonerde des Tons zu einem Natriumaluminiumsilikat zusammen und bildet den Hauptbestandteil der sogenannten Salzglasur; es ist sehr wahrscheinlich, dass die im Ton noch vorhandenen Basen Kalk und Magnesia, sich auch an der Silikatbildung beteiligen. Die Salzglasur bildet entweder einen ganz dünnen, mattschimmernden Ueberzug auf der körnigen perlgrauen Oberfläche und ist dann von sehr feiner Wirkung, oder sie bildet bei überschüssigem Salz eine unangenehme, speckig glänzende, haarrissige Glasur. Die Salzglasur wird um so

leichter gebildet werden, je reicher an Kieselsäure der Ton ist, und man sieht, dass der Sandreichtum die Westerwälder Tone für diesen Zweig der Steinzeugindustrie besonders geeignet macht.

Die entstehende Salzsäure tritt mit den Kochsalzdämpfen aus dem Ofen und gibt diesen den unangenehmen stechenden und reizenden Charakter sowie den zerstörenden Einfluss auf eiserne Gegenstände in der Umgebung. Andererseits wirkt aber — und das ist von wesentlicher Bedeutung — die Salzsäure auf das Kobaltoxyd der Smalte. Soweit man nämlich aus der schwarzen Farbe derselben, die von den Industriellen käuflich bezogen wird, urteilen kann, befindet sich das Kobaltoxyd entweder in rohem oder sehr schwach gefritteten Zustande darin; andernfalls, bei völliger Verglasung desselben, müsste die Farbe blau sein. Es bildet sich also aus dem Kobaltoxyd Kobaltchlorür und dieses, bei der Temperatur des Ofens flüchtig, wirbelt mit den Feuergasen hin und her, schlägt sich auf der frischgebildeten flüssigen Salzglasur nieder und färbt sie. Auch das ganze Ofengewölbe ist blau gefärbt. Nach dem Wiederöffnen des Ofens kommen dann die Gefässe heraus, bald hier bald dort unregelmässig, mehr oder weniger mit einem blauen Anflug versehen. Der Kannenbäcker im Nassauerlande sagt: „Die Smalte fliegt.“ Wie man sieht beruht dieses „Fliegen“ auf einer chemischen Umsetzung zwischen dem Kobaltoxyd und der entstehenden Salzsäure, und es ist ohne weiteres klar, dass dieser Fehler sofort beseitigt ist, wenn man das Oxyd in die Form eines von Salzsäure nicht mehr angreifbaren Silikats bringt.

Angenommen, man habe diese Bedingung erfüllt, so sind trotzdem noch blaue Anflügean unerwünschter Stelle nicht ausgeschlossen. Wenn nämlich die Smalte zu fein gemahlen ist, so kann das Anprallen der Flamme, die ja frei an die Gefässe trifft, die leichtesten Teilchen mit fortreissen und an anderen Stellen der Gefässe wieder niederschlagen. Man erkennt dies daran, dass von den bemalten Stellen aus in der Hauptrichtung der Flammengase, d. h. von unten nach oben, der Scherben blaustreifig gefärbt ist. Wir haben hier also einen Vorgang, den man als „mechanisches Fliegen“ bezeichnen könnte, und der schon sehr früh eintreten und so lange andauern kann, bis sich die Smalte durch Schmelzen geschlossen hat. Die Abhilfe liegt hier auch auf der Hand: man darf das Blau nicht zu fein mahlen, und muss durch Einführung einer leicht schmelzbaren Fritte für ein möglichst baldiges Festschmelzen der Smalteteilchen sorgen.

Aber auch diese Massregel sichert nicht vollständig vor blauen Flecken. Ist nämlich die Smalte stellenweise dick gelegt und bekommt einen Überschuss an Salz, so wird sie durch die reichliche Alkaliaufnahme so dünnflüssig, dass sie in langen Strähnen herunterfliesst. Das ist eine Erscheinung, die sehr häufig zu beobachten ist. Prallt dann an diese flüssige Smalte auch noch die Flamme kräftig an, so wirkt das genau so, als wenn man auf eine dünne

Wasserschicht mit dem Munde bläst: bei schwachem Blasen werden einzelne feinste Tröpfchen weggerissen, bei starkem Blasen stiebt das Wasser in Tropfen nach allen Richtungen hin auseinander. So geht es mit der flüssigen Smalte im Ofen: die Flamme treibt feinste Tröpfchen davon in die Höhe, und es entsteht eine ähnliche Streifung wie beim Verwehen trockner Teilchen; trifft aber die Flamme mehr von vorn oder von der Seite, so wird das Blau nach allen Seiten zerstiebt und versieht nun die nächste Umgebung der bemalten Stellen mit einer blauen unregelmässigen Tüpfelung; zu einer völligen Blosslegung der bemalten Stellen kommt es infolge der Zähigkeit des Glases freilich nicht. Wir haben hier also ein zweites „mechanisches Fliegen". Auch vor diesem Fehler kann man sich schützen, und zwar dadurch, dass man erstens der Smalte nicht zu viel Flussmittel gibt und zweitens, dass man an die Stellen, die erfahrungsgemäss einem Salzüberschuss ausgesetzt sind, also in erster Linie an die Einschüttöffnungen und deren nächste Umgebung keine blaubemalten Gefässe bringt.

Ein anderer Fehler, der dann auftritt, wenn man das Blau zwischen geritzte Muster gelegt hat, ist das Zurückweichen desselben von den Konturen. Der Fehler wird durch zu feine Mahlung hervorgerufen, indem nun zu starke Schmelzung und Zusammenziehung eintritt. Die Abhilfe ist also darin gegeben, dass man dem feingemahlenen Blau einen Teil gröber körniges hinzufügt.

Nachdem die Ursachen der Fehler einmal erkannt waren, konnte es auch nicht schwer fallen, auf Grund der Erkenntnisse eine fehlerfreie Smalte zusammenzusetzen. Der von uns eingeschlagene Weg soll im folgenden an einem Salzblau geschildert werden, das direkt für den Kannenofen, also für die Temperatur des Segerkegel 3 bis 4 bestimmt war.

Herstellung einer salzbeständigen Smalte.

Nach den vorstehenden Ausführungen muss die erste Aufgabe die sein, das Kobaltoxyd in ein von Salzsäure unangreifbares Silikat zu bringen. Es ist bekannt, dass die Feldspäte umsoweniger von Salzsäure zersetzbar sind, je mehr Kieselsäure sie enthalten. So ist z. B. der Albit mit 68 %, der Orthoklas mit 64 %, der Oligoklas mit 65 bis 61 % Kieselsäure unangreifbar oder fast unangreifbar, während Labrador mit 55 bis 49 % von konzentrierter Salzsäure unvollkommen und Anorthit mit 43 % Kieselsäure vollkommen zersetzt wird.[1]) Wenn es gestattet ist, von dem Verhalten der krystallisierten Silikate auf Gläser zu schliessen, ohne damit eine Analogie beider aussprechen zu wollen, sondern lediglich, um

[1]) Systematische Untersuchungen über den Einfluss des Kieselsäuregehaltes auf die Angreifbarkeit der Gläser rühren ausserdem noch von Schwarz her und finden sich in den Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses 1887, 204. Diese Quelle stand mir bei der Anstellung unserer Versuche nicht zu Gebote.

für den Kieselsäuregehalt unserer Kobaltfritte einen Anhalt zu gewinnen, so musste die letztere über 55 % Kieselsäure enthalten und musste dann noch den weiteren Bedingungen entsprechen, dass sie bei Segerkegel 4 zu einem Glase zusammenschmolz und aus einem später zu erwähnenden Grunde möglichst reich an Kobaltoxyd war. Nachdem die ersten Proben ergebnislos geblieben waren, reichte die folgende beinahe an die Ansprüche heran, indem sie ein tadellos klares Glas bildete und mit 100 ccm einer konzentrierten, mit der gleichen Menge Wasser verdünnten Salzsäure vier Stunden lang in einer bedeckten Porzellanschale auf dem Wasserbade dirigiert, nur wenig Kobaltoxyd an diese abzugeben schien. Die Formel der Fritte ist:

$$\left.\begin{matrix} 0{,}3\,K_2O \\ 0{,}2\,Na_2O \\ 0{,}5\,CoO \end{matrix}\right\}\ 1{,}7\,SiO_2$$

Um genaueren Aufschluss zu erlangen, wurde die Menge des gelösten Kobaltoxyds quantitativ bestimmt. 1,0751 g staubfein geriebene Fritte wurden in der angeführten Weise mit Salzsäure behandelt; der Rückstand abfiltriert, bis zum Verschwinden der Chlorreaktion gewaschen, das Filter getrocknet und am Platindraht verbrannt, mässig geglüht, um ein Anschmelzen feinster Fritteteilchen zu vermeiden, und gewogen. Der Rückstand wurde quantitativ in die Porzellanschale zurückgeführt und noch einmal vier Stunden der Salzsäure ausgesetzt, wobei eine weitere Gewichtsabnahme nicht erfolgte. Daraufhin wurde im ersten salzsauren Filtrat zunächst die Kieselsäure in der bekannten Weise abgeschieden, und nun Kobaltoxyd nach Fresenius[1]) sofort durch Fällung als Oxydhydrat und Überführung in metallisches Kobalt bestimmt. Da Fresenius ausdrücklich bemerkt, dass das beim Kobaltniederschlag zurückbleibende Alkali bei richtiger Arbeit verschwindend klein ist, also auch das bei der Fällung mitgerissene Alkali nicht bedeutend sein dürfte und beim Waschen des metallischen Kobalts zum grössten Teil entfernt wird, so glaubte ich, von der umständlicheren Trennung von den Alkalien durch Fällung als Schwefelkobalt, Lösung in Königswasser und nun erst vorzunehmende Abscheidung als Oxydhydrat absehen zu dürfen, und das umsomehr, als es sich ja hier nur um eine Tastprobe handelte, und eine ein wenig zu hohe Kobaltzahl gar nicht in das Gewicht fiel. In der Lösung fanden sich 0,0702 g = 6,53 % Kobaltoxyd. Da die theoretische Menge davon in der Fritte 20,71 % beträgt, so ist fast der dritte Teil in Lösung gegangen; die Fritte ist also noch nicht widerstandsfähig genug. Ihre Menge an Kieselsäure beträgt nach der Berechnung 56,71 %, ist also noch zu gering. Ausserdem vermutete ich auf Grund einer bei anderer Gelegenheit gemachten Erfahrung, dass die Menge der Alkalien auch einen ungünstigen Einfluss auf die Widerstandsfähigkeit des Silikates ausgeübt habe. Daraus

[1]) Quantitative Analyse I § 111b.

folgte dann für die nächsten Proben eine Erhöhung der Kieselsäure und eine Verminderung der Alkalien.

$$\text{Nr. 1.}\quad \left.\begin{array}{l} 0{,}2\,K_2O \\ 0{,}2\,Na_2O \\ 0{,}6\,CoO \end{array}\right\} 1{,}8\,SiO_2 .$$

$$\text{Nr. 2.}\quad \left.\begin{array}{l} 0{,}2\,K_2O \\ 0{,}2\,Na_2O \\ 0{,}6\,CoO \end{array}\right\} 1{,}9\,SiO_2 .$$

$$\text{Nr. 3.}\quad \left.\begin{array}{l} 0{,}2\,K_2O \\ 0{,}2\,Na_2O \\ 0{,}6\,CoO \end{array}\right\} 2{,}0\,SiO_2 .$$

Die letzte Fritte wurde aus folgenden Stoffen zusammengesetzt:

27,6	Teile	Pottasche
21,2	„	calc. Soda
44,7	„	reines Kobaltoxyd
120,0	„	Sand.

Die Mischungen enthalten bezw. 58,73; 60,23; 61,26 % Kieselsäure und bezw. 24,31; 23,54; 22,82 % Kobaltoxyd. Alle drei sind bei Segerkegel 4 in der Scharffeuermuffel vollständig glasig. Nr. 3 wird in der bekannten Weise untersucht, ob es an Salzsäure Kobaltoxyd abgibt; dies ist nicht der Fall. Dieselben drei Proben sind nun auch im Kannenofen in einer verschlossenen Kapsel geschmolzen worden, da es mit Rücksicht auf die spätere praktische Verwendbarkeit der Smalte nötig erschien, diese so einzurichten, dass der Fabrikant im stande sein sollte, sein Salzblau in seinem Ofen sich selbst herzustellen. Hierbei ergaben sich nun etwas härtere Gläser, die bei Nr. 3 schon ein wenig nach dem steinigen Charakter hinneigten; dass die Bindung der Basen aber trotzdem vollständig ist, zeigt die Untersuchung, nach welcher auch diese Probe 3 kein Kobaltoxyd abgibt. Damit war der erste Teil der Aufgabe, die Herstellung eines salzsäurefesten Glases, gelöst.

Nun kam es noch auf die Einführung der Fritte 3 in eine passende Glasur an. Die bereits erprobten, für Segerkegel 4 passenden Glasuren C 3 und F 3 (S. 74) boten sich hier ohne weiteres dar. Diese hatten auch noch den Vorteil, dass sie vermöge ihres Gehaltes an der leicht schmelzbaren Segerfritte II nach den früheren Ausführungen auf eine Verminderung des mechanischen Fliegens hinzuwirken befähigt waren. Es schien aber angebracht, die Menge der Fritte II in ihnen zu erhöhen, mit Rücksicht darauf, dass die Temperatur des Salzofens den Segerkegel 4 noch nicht zum Schmelzen bringt, und dass auch noch eine gewisse Menge Fritte 3 glatt aufgenommen werden sollte. Bezüglich der Menge des Kobaltoxydes konnten nach früheren Erfahrungen etwa 4 % als ausreichend angesehen werden; danach waren von Fritte 3 zwanzig Gewichtsteile auf 100 Teile Glasur anzuwenden. Man

sieht, dass man von dieser relativ wenig braucht, wenn sie an Kobaltoxyd möglichst reich ist; für die Praxis bedeutet das eine nicht unbeträchtliche Ersparnis, da die Herstellung einer Fritte stets mit besonderen Kosten verknüpft ist. Demgemäss wurden folgende Mischungen hergestellt:

Nr. 4.	60	Teile	Glasur A (S. 70)
	40	„	Fritte II (S. 45)
	20	„	Fritte III
Nr. 5.	50	Teile	Glasur A
	50	„	Fritte II
	20	„	Fritte III
Nr. 6.	60	Teile	Glasur B (S. 70)
	40	„	Fritte II
	20	„	Fritte III
Nr. 7.	50	Teile	Glasur B
	50	„	Fritte II
	20	„	Fritte III

Die Proben wurden sowohl auf Tonplättchen gegossen, als auch in Mengen von je 20 g in Tontiegelchen gegeben, und nun zunächst bei Segerkegel 4 in der Scharffeuermuffel gebrannt. Es ergaben sich durchweg völlig klare, tiefblaue, glänzende Glasuren auf den Plättchen und vollkommene Gläser in den Tiegelchen. Letztere in der gewöhnlichen Weise mit Salzsäure behandelt gaben kein Kobaltoxyd ab. Mit denselben Proben wurde nun eine grössere Anzahl von Tonplättchen übergossen und in einem gewöhnlichen Salzofen der Industrie an den verschiedensten Stellen verteilt. Da es möglich war, dass die Glasuren beim Salzen durch die Salzdämpfe basischer wurden, und erblindeten, so setzten wir gleich, von Nr. 7 ausgehend, noch einige Proben mit Sand an:

Nr. 8.	50	Teile	Glasur B
	50	„	Fritte II
	40	„	Fritte III
	10	„	Sand.
Nr. 9.	50	Teile	Glasur B
	50	„	Fritte II
	40	„	Fritte III
	20	„	Sand.
Nr. 10.	50	Teile	Glasur B
	50	„	Fritte II
	40	„	Fritte III
	40	„	Sand.

Diese drei Proben gaben in der Muffel auf Plättchen auch noch klare Glasuren, doch standen sie an Glanz hinter Nr. 7 zurück. In den Tiegeln sind Nr. 8 und 9 noch vollkommene Gläser, Nr. 10 ist

etwas härter, aber immer noch von glasigem Charakter. Auch hier ergab eine erneute Untersuchung, dass keine der drei Mischungen an Salzsäure Kobaltoxyd abgibt.

Im Kannenofen sind die Ergebnisse der Proben Nr. 4 bis 10 als sehr gut zu bezeichnen. Die beiden letzten Proben Nr. 9 und 10 zeigten zwar Trübungen, aber so geringfügig, dass man sie nur bei genauer Beobachtung wahrnahm, sie zeigen damit an, dass die Grenze des Sandzusatzes erreicht ist. Durchweg tadellos sind die Proben Nr. 8, blank, völlig klar, glänzend und von schöner tiefblauer Farbe. Da man aber beim Vergleich mit den Proben 4 bis 7 ebenso gute findet, so kann man die Hälfte an Kobaltoxyd ersparen, was bei dem Preise dieses Materials für die Praxis von Belang ist. Nr. 4 und 5 sind hier und da stellenweise, obgleich nur schwach erblindet und bestätigen damit die Richtigkeit der Vermutung, die zu den Proben 8 bis 10 führte. Aber Nr. 6 und 7 sind von gleichmässiger guter Beschaffenheit, durchweg blank und glänzend und von schöner rein blauer Farbe. Da man bei Nr. 6 an Fritte II spart, gegenüber Nr. 7, so wurde die erstere dazu ausgewählt, um durch wiederholte Proben das erste gute Ergebnis zu bestätigen. In der Tat hat sich diese Smalte im Kannenofen voll bewährt und zwar sowohl auf gewöhnlichem Ton als auch auf der bimsandhaltigen Masse Nr. 91 (S. 40).

Man sieht, dass der beschriebene Weg ein allgemein gangbarer ist, da man es leicht in der Hand hat, durch Abänderung der Mischungsverhältnisse zwischen den drei Komponenten Glasur B, Fritte II und III, unter Umständen auch durch Einführung von Sand ein gutes Salzblau für beliebige Temperaturen zwischen Segerkegel 2 und 9 zu erzeugen.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, denjenigen Herren auch an dieser Stelle das Gefühl der Dankbarkeit zum Ausdruck zu bringen, die mich durch ihren Unterricht zur Herstellung der vorstehenden Arbeit befähigt haben, und zwar sowohl meinen verehrten Lehrern an der Kgl. Sächsischen Technischen Hochschule zu Dresden, im besonderen Herrn Geh. Rat Prof. Dr. Walter Hempel, der mich in der anorganischen Chemie vorzugsweise ausgebildet hat, als auch dem Direktor der Kgl. Keramischen Fachschule in Bunzlau, Herrn Dr. Pukall, der mich in die Keramik eingeführt hat, und den Herren der Kgl. Porzellanmanufaktur in Berlin, im besonderen dem Direktor Herrn Geh. Rat Dr. Heinecke, und Herrn Marquart, dem Vorsteher der chemisch-technischen Versuchsanstalt daselbst, die mich auf diesem Gebiet gefördert haben.

Lebenslauf.

Ich, Wilhelm Scheffler, bin am 7. Juni 1874 zu Dresden als ältester Sohn des Professors Dr. Wilhelm Scheffler an der Kgl. Technischen Hochschule geboren. Meine Reifeprüfung bestand ich Ostern 1893 am Vitzthumschen Gymnasium daselbst, wandte mich dann an der Dresdner Technischen Hochschule, hauptsächlich unter Leitung des Herrn Geh. Rats Prof. Dr. Walter Hempel, dem Studium der Chemie zu und erwarb dort im Sommer 1898 das Diplom als Chemiker. Zuerst war ich als Analytiker in der Fabrik von J. E. Devrient in Zwickau, danach zwei und ein halbes Jahr als Assistent am Hygienischen Institut der Universität Jena unter der Leitung des Herrn Geh. Hofrats Prof. Dr. Gärtner tätig. Ostern 1901 wurde mir die Lehrstelle für Chemie an der Kgl. Keramischen Fachschule in Höhr übertragen, die ich bis Ostern 1905 innegehabt habe.

Druckfehlerberichtigung.

Seite 20 Zeile 20 von oben lies anstatt „rades“: grades.
„ 103 „ 9 von unten lies anstatt „arisser“: weisser.
„ 109 und 110 lies überall anstatt „Fritte III“: Fritte 3.